

PROYECTO FIN DE CARRERA



Ingeniería Industrial

Universidad Carlos III de Madrid

APLICACIÓN DE NUEVAS TÉCNICAS DE MANTENIMIENTO EN UN PARQUE DE MAQUINARIA DE UN GRUPO DE CIMENTACIONES

Cecilia Jiménez García

Septiembre 2009

PROYECTO FIN DE CARRERA



Ingeniería Industrial

Universidad Carlos III de Madrid

APLICACIÓN DE NUEVAS TÉCNICAS DE MANTENIMIENTO EN UN PARQUE DE MAQUINARIA DE UN GRUPO DE CIMENTACIONES

Director: Ana Leñero

Tutor: Fernando Yangüela

Autor: Cecilia Jiménez García

Septiembre 2009



AGRADECIMIENTOS:

En primer lugar quiero agradecer a Ana Leñero y a Fernando Yangüela, tutores de este proyecto, su tiempo, paciencia, consejos y dedicación para poder realizar este proyecto.

A todos los profesores de los que he aprendido.

A mi familia, a los que están y a los que no, por su apoyo durante toda mi vida y darme ánimos cuando más lo he necesitado. En especial a mis padres y a mi hermana.

Y como no, a mis compañeros de universidad y amigos que he conocido durante estos años, con los que he compartido momentos inolvidables.

Gracias a todos.

ÍNDICE

1. Introducción	1
2. Antecedentes	2
3. El Grupo	
3.1. Productos del Grupo	3
3.2. Organigrama del Grupo	5
4. Contenido del proyecto	
4.1. Análisis (1ª Fase)	6
4.1.1. Problemas	6
4.2. Implantación (2ª Fase)	11
4.2.1. Oportunidades de mejora	11
4.2.2. Resultados que se deben conseguir	15
4.3. Consecuencias (3ª Fase)	17
5. Teoría de mantenimiento	
5.1. ¿Qué es el mantenimiento?	18
5.1.1. Problemas habituales de mantenimiento	19
5.1.2. Consecuencias de los problemas de mantenimiento	20
5.1.3. Objetivos del mantenimiento	20
5.1.4. Formulaciones científicas del mantenimiento	22
5.2. Tipos de mantenimiento	27
5.2.1. Mantenimiento Correctivo	27
5.2.2. Mantenimiento Preventivo	29
5.2.3. Mantenimiento Predictivo	34
5.3. Etapas del mantenimiento	47
5.4. Otros tipos de mantenimiento	54
5.4.1. Mantenimiento Total de la Productividad (TPM)	54
5.4.2. Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM)	58
5.5. ¿Qué es el GMAO?	65



5.5.1. Etapas para su aplicación	66
5.5.2. Ventajas de GMAO	70
5.6. Factor Humano en mantenimiento	73
5.6.1. Importancia de las personas en la empresa	73
5.6.2. Las cualificaciones	74
5.6.3. La formación	75
5.7. El mantenimiento ¿coste o beneficio?	76
5.7.1. Optimización del coste global de los equipos	77
5.8. El mantenimiento en la organización de la empresa	84
6. 3ª Fase: Aplicación de nuevas técnicas de mantenimiento y de gestión en el parque de maquinaria de un Grupo de cimentaciones (17 empresas)	
6.1. Búsqueda de un GMAO	87
6.1.1. Especificaciones de un GMAO	87
6.1.2. Bases de la oferta del GMAO	88
6.1.3. Empresas seleccionadas	90
6.1.4. Comparaciones	92
6.1.5. Software elegido	93
6.1.6. Ventajas de la implantación	97
6.2. Definición y descripción de los servicios de mantenimiento	98
6.3. Aplicación de técnicas de mantenimiento predictivo	100
6.3.1. Definición de técnicas a aplicar	100
6.3.2. Procedimiento	100
6.3.3. Selección de empresas especializadas	102
6.4. Definir el "contrato" con las empresas cliente del Grupo	103
6.5. Rentabilidad	104
7. Conclusiones	106
8. Anexos	108
9. Índice de imágenes	108
10. Bibliografía	196

1. INTRODUCCIÓN

Este proyecto fin de carrera ha sido un proyecto real, realizado en CEPI INGENIERÍA DESARROLLOS y MEJORA S.L., consultora con una gran experiencia en el área de operaciones, aportando soluciones a sus clientes en temas de calidad, logística, producción, ingeniería en planta y análisis y reingeniería de procesos.

Para este proyecto se ha estado trabajando en la reorganización aplicada a la reingeniería de los procesos en el Parque de Maquinaria de una empresa líder en cimentaciones (Grupo) que está integrada por empresas líderes en España en cimentaciones especiales (llamados a partir de ahora partícipes) y en la investigación y aplicación de diversas técnicas de tratamiento del suelo.

Por seguridad y confidencialidad no se proporciona el nombre de la Empresa (Grupo) a la que se le ha realizado el proyecto. Todos los datos utilizados son los suministrados por el Grupo o los obtenidos por nosotros en el desarrollo del proyecto, a través de reuniones nos iban comunicando sus necesidades y nos proporcionaban la información necesaria para abordar los problemas y así encontrar las soluciones más acertadas.

Mis tutores para la realización de este proyecto han sido Ana Leñero Cabañas en la empresa CEPI INGENIERÍA DESARROLLOS y MEJORA S.L. y el profesor Fernando Yangüela Terroba en la UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID.

2. ANTECEDENTES

CEPI INGENIERÍA DESARROLLOS y MEJORA S.L. lleva realizados cuatro proyectos a lo largo de dos años al Grupo de cimentaciones líder del mercado español y el tercer Grupo más importante de Europa.

El Grupo formado por 17 empresas ha ido aplicando el análisis de los procesos en cada una de las mismas para conseguir mejorar sus costes, la comunicación entre departamentos, mejorar la documentación de los proyectos, estandarizar y mejorar las actuaciones ante determinadas situaciones (averías, condiciones de trabajo distintas a las previstas, etc.)

La metodología utilizada en todos los proyectos de los distintos clientes del Grupo ha sido la misma y el resultado ha sido satisfactorio en todos los proyectos, lo que ha justificado la continuidad.

Tras el último proyecto realizado para el Grupo (ANÁLISIS Y MEJORA DE LOS PROCESOS) surgió la necesidad de realizar este proyecto para así mejorar la gestión y la comunicación entre los distintos participantes además de introducir mejoras en el mantenimiento de sus equipos como el mantenimiento predictivo.

3. EL GRUPO:

Es una compañía española líder en el sector de las Cimentaciones Especiales, Mejora del Terreno y Medioambiente. Desarrolla su actividad en el campo de la geotecnia, siendo una de las pocas compañías en el mundo que cubre toda la gama de sistemas de excavación, perforación y tratamientos del terreno que en la actualidad existen.

3.1. Productos del Grupo

Las actividades principales del Grupo pueden ser divididas según la tecnología utilizada en los siguientes bloques:

- Cimentación profunda:

- Pilotes prefabricados (armados y pretensados): Cuenta con factorías de pilotes prefabricados propias y permanentes. Esta técnica ofrece una gran capacidad de resistencia frente a los agentes químicos, tanto sulfatos como agua marina, y gran compacidad. La hinca de los pilotes se realiza con los más avanzados métodos de accionamiento hidráulico, de elevado rendimiento y control, y sin límite de profundidad.

- Pilotes "in situ": Los pilotes de extracción, perforados y hormigonados "in situ" se emplean prácticamente en todo tipo de terrenos, con los útiles de perforación adecuados.

- Micropilotes: En líneas generales, un micropilote es un pilote de pequeño diámetro, dotado de una armadura tubular y posteriormente inyectado con lechada de cemento o mortero. La técnica es utilizada en múltiples aplicaciones, entre las más comunes están el recalce de edificios, refuerzo de cimentaciones para ampliación de edificios, cimentaciones profundas en solares de pequeñas dimensiones, etc.

- Contención y mejora del terreno:

- Pantallas: Esta técnica utiliza pantallas de hormigón que pueden adaptarse a cualquier tipo de terreno y profundidad. Se emplean en gran número de elementos (estructuras portantes, muros de contención provisionales o definitivos, etc.) que aportan una solución a problemas que van desde la excavación de estructuras enterradas, tales como aparcamientos o sótanos, pasos inferiores..., hasta la formación de elementos de impermeabilización del subsuelo en presas de materiales sueltos.

- Columnas de grava: Las Columnas de grava (Vibrosustitución) y Vibrocompactación son técnicas de mejora del terreno que permiten

obtener suelos equivalentes, de características mecánicas mejoradas, capaces de soportar las cargas estructurales previstas mediante una cimentación directa. Estas técnicas permiten mejorar, desde suelos muy blandos, hasta medios (arenas limosas, limos, arcillas, etc.).

- **Hinca de drenes:** Técnica utilizada para tratar grandes superficies, en terrenos muy blandos. Los drenes son geocompuestos que tienen la propiedad de filtrar el material arenoso, drenando el agua y consiguiendo de esta manera la aceleración de la consolidación del suelo.

- Inyecciones y otras actividades:

- **Inyecciones:** La inyección del terreno implica la introducción por impregnación (relleno del hueco preexistente) o rotura del mismo, de una mezcla fluida, que posteriormente fragua y endurece, reduciendo el grado de permeabilidad y/o mejorando las características mecánicas del mismo.

- **Jet Grouting:** La técnica del Jet Grouting es un sistema de inyección que aplica presiones altas en origen, lo que se traduce en velocidades altas de salida. Las altas velocidades de corte consiguen romper el suelo, desplazar parte de las partículas hacia fuera, y mezclar el suelo restante con la lechada de cemento. El resultado final es un cuerpo sólido de suelo-cemento, cuya resistencia y permeabilidad son diferentes a las del suelo original.

- **Inyecciones de compensación:** Cuando las técnicas clásicas de inyección para rellenar huecos en cimientos o restaurar estructuras no son adecuadas, o se requiere el izado de las mismas, se utilizan las inyecciones de compensación.

- **Auscultación:** En el sector de la Auscultación, presta sus servicios a todos los niveles, ya sea el suministro de los equipos como su instalación y también la lectura de datos y su interpretación.

- **Obras medioambientales:** Actualmente es capaz de realizar actuaciones en campos tan dispares como la biorremediación, la descontaminación de suelos, controles freáticos, descontaminación y control de acuíferos, controles de erosión, impermeabilización de túneles, diseño y ejecución de vertederos y celdas de seguridad, extracción y descontaminación de lixiviados, desgasificación y aprovechamiento energético del biogás, muros ecológicos, control de cauces fluviales, refuerzos de firmes, geotermia, etc.

3.2. Organigrama del Grupo:

El organigrama del grupo tiene su origen en la división de su estructura por línea de negocio (ver ANEXO 1), así como una separación en lo que llamaremos Unidades de Negocio y de Apoyo.

3.2.1. Unidades de Negocio del Grupo

El organigrama está dividido en Unidades de Negocio, considerados como centro de beneficio/inversión, se componen de una agrupación de las compañías según el tipo tecnología utilizada:

- Pilotes Prefabricados.
- Cimentaciones Pesadas.
- Técnicas Avanzadas.

3.2.2. Unidades de Apoyo del Grupo

En el organigrama del grupo aparecen unas unidades que dependen jerárquicamente del Director General, estos son las Unidades de Apoyo, considerados como centro de gastos, dan servicio y apoyo a las distintas compañías que integran el Grupo para las actividades comunes:

- Red Comercial.
- AFINPER: Administración, finanzas y personal.
- Parque de Maquinaria.
- Proyectos especiales.
- Calidad.
- Seguridad y prevención.
- Riesgos y cobros.

4. CONTENIDO DEL PROYECTO

4.1 Análisis (1ª Fase)

El Grupo ha tenido un gran crecimiento en los últimos años, crecimiento que se pretende consolidar en cuanto a calidad, seguridad, producción y rentabilidad. Dado que ello ha supuesto asimismo un crecimiento en el número de máquinas y transportes, con objeto de alcanzar las metas de producción y rentabilidad, se abordó el proyecto basado en el “análisis y mejora de los procesos”. En el análisis se prestó especial atención a los flujos de información con cada una de las empresas del grupo y a mejorar el Servicio al Cliente, en especial en el funcionamiento del taller de reparación y en los costes de los servicios.

En el ANEXO 2 se puede observar el mapa de procesos junto con los problemas y las oportunidades de mejora que se encontraron.

4.1.1. Problemas:

En la fase de análisis se detectaron 116 problemas en diferentes áreas o procesos. A partir de ellos se identificaron 90 oportunidades de mejora. De entre ellas, se seleccionaron 46 considerando que su implantación resolvería la mayor parte de los problemas.

A continuación se enumeran los problemas que se encontraron al realizar el proyecto anterior de los diferentes grupos o departamentos.

4.1.1.1. Problemas Generales:

- 1 El parque se encuentra en una parcela insuficiente.
- 2 La parcela del parque está atravesada por dos líneas aéreas de alta tensión.
- 3 Hay una cañada de paso de ganado que atraviesa la parcela.
- 4 La mayor parte de la parcela es alquilada.
- 5 El terreno de la parcela tiene varios niveles.
- 6 En la parcela del Grupo está también el parque de otra empresa.
- 7 Las licencias y permisos de apertura y actividad no están en orden.
- 8 Hay falta de las infraestructuras necesarias.
- 9 El personal del Grupo ficha lejos de su puesto de trabajo.
- 10 El horario del personal del Grupo es mejorable.

4.1.1.2. Problemas Compras:

- 11 Se realizan pedidos de material sin pasar por Compras.
- 12 No está definido quién está autorizado a hacer solicitudes de compras.
- 13 No existe documentación relacionada con la homologación de los proveedores.
- 14 En pedidos del taller mecánico y de asistencia técnica, Compras requiere información técnica.
- 15 BaaN no da el precio que se necesita en Compras.
- 16 Los pedidos sin precio (precio cero) no se pueden visar hasta que se introduce el precio.
- 17 Modificaciones posteriores al visado del pedido pueden provocar problemas al recepcionar el pedido y/o la factura.
- 18 Los visados se retrasan mucho por no adaptarse a las necesidades del parque.
- 19 No hay un buen seguimiento de la entrega de materiales.

4.1.1.3. Problemas Administración:

- 20 Se producen distintas incidencias en facturas.
- 21 Problemas causados por la eliminación de pedidos en BaaN.
- 22 Problemas cuando falta la responsable de Administración.
- 23 Fallos de contabilidad en facturas de autónomos.
- 24 Llegan a Administración partes incorrectos.
- 25 Los partes de trabajo siempre llegan con retraso, lo que implica retrasos en los pedidos.
- 26 Hay mucho trabajo administrativo el Grupo.

4.1.1.4. Problemas Almacén:

- 27 No hay definidos niveles de stocks en almacén.
- 28 Se usan distintas denominaciones para las mismas piezas.
- 29 Algunos transportistas entregan el material a cualquier persona sin dar entrada al sistema.
- 30 La recepción en el almacén sólo verifica que la cantidad concuerde con el albarán.
- 31 A veces no se avisa a la persona que ha solicitado el material de la recepción de éste.
- 32 El encargado de introducir los albaranes no tiene sustituto formado.
- 33 Los pedidos urgentes provocan recibir material sin albarán.
- 34 La empresa partícipe no envía el albarán del material enviado a obra desde proveedor.

- 35 Cuando el proveedor es CEPSA en general nunca llegan los albaranes.
- 36 Falta espacio en el almacén.
- 37 En la jornada semanal no da tiempo a colocar todo el material del almacén.
- 38 Hay muchos tipos de repuestos similares en el almacén.
- 39 Hay demasiado material en el almacén.
- 40 El taller a veces no elabora la solicitud para petición de envío a obra de una pieza reparada.
- 41 A veces hay problemas de transporte para el suministro del material de una reparación.
- 42 Las salidas de material se registran en BaaN con retraso.
- 43 La lista de materiales se envía a las empresas en contadas ocasiones.
- 44 El inventario anual es complejo porque no se cierra el almacén.
- 45 Demasiado trabajo administrativo en el almacén.
- 46 No se hace seguimiento del control de los alquileres.
- 47 Existe mucha rotación del personal, por lo que continuamente hay que estar formando a la gente.
- 48 Elevado absentismo de los operarios del almacén.

4.1.1.5. Problemas Gestión de Materiales:

- 49 Producción no solicita todo el material que necesita para iniciar una obra.
- 50 Producción pide el material con muy poco tiempo, casi siempre con urgencia.
- 51 Problemas en peticiones de material de producción a los gestores por la denominación.
- 52 Hay demasiado material para el espacio que se dispone en el patio.
- 53 Falta definición de lo que se debe y no se debe enviar al parque.
- 54 Los equipos secundarios no se comparten con otras empresas cuando están desocupados.
- 55 Las empresas no reparan los equipos hasta que los necesitan.
- 56 Faltan medios para mover las máquinas en la campa.
- 57 Hay mucha gente en la campa del parque para mover máquinas.
- 58 Los operarios que mueven el material del patio están asignados por gestor.
- 59 Hay demasiados tipos de armaduras almacenadas.
- 60 Retraso en las entradas y salidas del material del patio en BaaN.
- 61 Retrasos en el envío del material a obra por colapsos en el parque.
- 62 Se envía material desde las obras sin hacer ningún albarán.
- 63 Producción no comunica por escrito los movimientos de material entre las obras.
- 64 El patio no se gestiona como una parte del almacén.

4.1.1.6. Problemas SAT:

- 65 Las empresas no siempre envían la lista de reparaciones a realizar.
- 66 No se ha definido un procedimiento para la comunicación de las averías desde Producción al jefe técnico.
- 67 Se pierde la información de las averías solucionadas telefónicamente en obra.
- 68 La solicitud de apertura de OT's no las abre el peticionario del trabajo.
- 69 La apertura de OT's en BaaN la realiza siempre el almacén.
- 70 Retraso en la apertura de OT's porque el expediente no está dado de alta en BaaN.
- 71 Los jefes de asistencia técnica recibe muchas llamadas telefónicas.
- 72 Problemas de apertura de OT's por petición telefónica a la hora de la comida.
- 73 SAT decide a qué mecánicos enviar.
- 74 El personal asignado a una reparación nunca la termina.
- 75 Es difícil estimar el tiempo de reparación de una avería.
- 76 La previsión de trabajadores en talleres es inadecuada.
- 77 El jefe del taller mecánico no tiene un planning de entradas y salidas de máquinas.
- 78 El almacén de repuestos está disperso, alejado y mal situado.
- 79 No hay una buena preparación de las tareas a realizar.

4.1.1.7. Problemas SAT - Taller:

- 80 En el plazo que las empresas dan para reparar la máquina, muchas veces no da tiempo a comprobar la reparación.
- 81 Faltan medios para mover las máquinas en el taller.
- 82 Se subcontratan pocos trabajos del taller de calderería.
- 83 Se subcontrata pocos trabajos del taller mecánico.
- 84 En el taller eléctrico es posible externalizar la mayoría de los trabajos.
- 85 Hay puestos de soldadura que no cumplen las normativas de seguridad y ambiental.
- 86 El taller mecánico está sucio y desordenado.
- 87 El taller no reúne las características necesarias en cuanto a superficie, alturas, puertas y accesos.
- 88 Se deja material enviado desde las obras para reparar en cualquier sitio por falta de espacio.
- 89 El taller está lleno de cosas sin reparar o a medio reparar.
- 90 Los talleres mecánico y de calderería están al fondo de un vial.
- 91 El taller eléctrico tiene poco espacio.
- 92 Los partes de trabajo de los mecánicos los revisa el jefe de taller
- 93 Los partes de trabajo muchas veces están mal rellenos.
- 94 Los mecánicos entregan sus partes cuando vuelven al taller.

- 95 El cierre de las OT's del taller se realiza desde el almacén.
- 96 La distribución del personal en el taller mecánico no es adecuada.
- 97 Los mecánicos no son capaces de resolver solos la mayoría de las averías.
- 98 Los jefes técnicos no realizan el trabajo que deberían.
- 99 El mecánico que repara averías guiado a través del móvil produce pérdidas.
- 100 El jefe provisional de calderería es un buen soldador pero no es un jefe de taller.
- 101 Muchos operarios del taller de calderería son soldadores, pero no saben de calderería.
- 102 Falta formación en el conocimiento de las máquinas por parte de los maquinistas.
- 103 Falta formación en los jefes de taller sobre aplicaciones informáticas.
- 104 Falta de formación en los jefes técnicos.
- 105 El Grupo no participa en las negociaciones a la hora de invertir en maquinaria nueva.

4.1.1.8. Problemas Delineante:

- 106 El delineante hace labor de compras.
- 107 El delineante hace mucho trabajo de administración.
- 108 El delineante sólo dedica el 25% de su trabajo en actividades de delineación.
- 109 Las funciones de RRHH las desempeña el delineante.

4.1.1.9. Problemas RRHH:

- 110 No se evalúa al personal del Grupo.
- 111 No hay objetivos por área.

4.1.1.10. Problemas Transportes:

- 112 El proceso de petición de transportes no es lógico.
- 113 No hay definidas funciones para la gente de transporte.
- 114 Producción bloquea las facturas de los transportes con incidencias.
- 115 Hay muchas incidencias en las facturas de transportes.
- 116 Compras no está integrado en Logística.

4.2 Implantación (2ª Fase)

Una vez conocidos todos los problemas de los que partía el proyecto en cada uno de los grupos citados anteriormente, se intentó encontrar Oportunidades de Mejora que pudieran mejorar o solucionar los problemas con los que se encontraron.

4.2.1. Oportunidades de Mejora (O.M.):

Todas las oportunidades de mejora fueron clasificadas por la Dirección del Grupo según su importancia en ABC(A 46, B 25 y C 13).

4.2.1.1. Oportunidades de mejora A:

- 2 Modificar o enterrar líneas.
- 3 Agrupar los parques.
- 4 Actualizar y regularizar las licencias de actividad y apertura.
- 5 Hacer las infraestructuras necesarias.
- 6 Instalar nuevos terminales de fichaje en talleres y almacén.
- 8 Rediseñar el proceso de compras.
- 10 Establecer información mínima a suministrar por el taller a Compras.
- 11 Corrección del sistema de imputación de precios.
- 12 Analizar las causas por las que salen pedidos sin precio y buscar soluciones.
- 14 Implantar control y seguimiento del plazo de entrega del material.
- 20 Hacer partes en formato electrónico.
- 22 Introducir los datos de las OT's mediante código de barras.
- 23 Implantar sistema de gestión de almacenes.
- 24 Definir stocks mínimos y punto de pedido.
- 25 Estandarizar el nombre del material e introducir código de barras.
- 26 Definir procedimiento de recepción del material.
- 28 Controlar y exigir a las empresas partícipes el envío de los albaranes.
- 30 Reubicar referencias del almacén en el taller y en el fabricante.
- 32 El taller debería rellenar la solicitud en BaaN y comunicarlo al almacén.
- 34 Enviar la lista de materiales a todas las empresas.
- 39 Diseñar formato para la solicitud del material desde

- Producción.
- 41 Realizar la solicitud del pedido por ordenador.
 - 42 Trasladar material, tirar material sobrante y organizar patio.
 - 43 Definir con las empresas lo que se debe y no enviar al parque.
 - 47 Buscar los medios adecuados para mover las máquinas.
 - 48 Cambiar organización patio (jefe de patio + personal de patio).
 - 50 Formar en Baan a los gestores de material para que registren los datos.
 - 51 Exigir el albarán para el material enviado desde obra (hoja ruta Pantallas).
 - 54 Gestionar el patio como una parte del almacén, para equipos grandes.
 - 55 Resolver y unificar los procesos de apertura de OT's.
 - 56 Definir procedimiento para la resolución de averías en obra.
 - 57 Implantar sistema de gestión de mantenimiento.
 - 58 Formar de forma intensiva al otro jefe de asistencia técnica.
 - 61 El jefe del taller mecánico debe decidir a quién mandar a obra.
 - 62 Ampliar espacio delante de los talleres.
 - 63 Subcontratar trabajos de calderería, dejando un minitaller en el taller mecánico.
 - 66 Dotar de equipos autónomos de respiración a los puestos que lo necesiten.
 - 69 Tirar material sobrante y organizar el taller.
 - 71 Enviar los partes diariamente desde obra.
 - 72 Redefinir proceso de cierre de OT's.
 - 75 Definir el perfil del nuevo jefe de taller de calderería a contratar.
 - 78 Definir las necesidades de formación de los jefes de taller e impartirles formación.
 - 79 Preparar plan de formación para los jefes técnicos.
 - 80 Involucrar al Grupo en la adquisición de nueva maquinaria.
 - 82 Definir funciones administrativas.
 - 90 Integrar Compras en Logística.

4.2.1.2. Oportunidades de mejora B:

- 9 Implantar proceso de homologación de proveedores.
- 13 Revisar y definir los límites de visado.
- 15 Medir las incidencias en las facturas y poner planes de actuación.
- 16 Ver si se puede evitar la eliminación de pedidos en BaaN.
- 17 Formar al personal administrativo.
- 19 Cambiar sistema de visado de los partes de trabajo.
- 21 Revisar documentación administrativa.
- 29 Exigir a CEPESA el envío de los albaranes.
- 33 Revisar acuerdos con proveedor de transporte y rutas.
- 35 Planificar salidas de material y organizar almacén.
- 38 Estudiar problemas de motivación.
- 40 Fijar plazos mínimos con Producción para evitar urgencias.
- 45 Fijar precio de alquiler para transferencia de equipos entre empresas.
- 53 Aplicar solución KT (consumibles).
- 59 Dar cursos de formación al personal de obra.
- 60 Aumentar plantilla fija y formar al personal
- 67 Limpiar el taller y ordenar los puestos de trabajo, reparar el suelo y pintarlo.
- 68 Implantar metodología 5S en taller mecánico.
- 70 Exigir a los mecánicos rellenar bien los documentos.
- 73 Negociar con los fabricantes mayor y mejor asistencia técnica.
- 74 Exigir que los jefes de taller realicen trabajo organizativo.
- 76 Preparar plan de formación para el personal del taller de calderería.
- 77 Tener en obra buenos maquinistas y buenos encargados.
- 83 Aumentar trabajo de desarrollo de mejoras en los equipos.
- 84 Pasar funciones de RRHH a Administración.

4.2.1.3. Oportunidades de mejora C:

- 1 Buscar una solución definitiva para el parque.
- 7 Poner dos turnos de trabajo.
- 18 Establecer con Contabilidad el desglose en las facturas.
- 27 Formar en BaaN a dos personas mínimo para cargar albaranes.
- 31 Estandarizar componentes-
- 36 Exigir a las empresas partícipes que comuniquen el movimiento del material alquilado.
- 37 TEC debería gestionar todos los alquileres.
- 44 Los equipos secundarios deberían ser propiedad del parque.
- 46 Establecer procedimiento de distintos precios de OT's.
- 49 Analizar qué armaduras sobran y presentar propuesta a cliente.
- 52 Debería ser Producción quien cargase al sistema estos movimientos.
- 64 Subcontratar más trabajos en taller mecánico (bombas, reductores y motores).
- 65 Definir los trabajos que es posible subcontratar en el taller eléctrico.
- 81 Formar técnicamente al personal de compras.
- 85 Definir e implantar sistema de evaluación del personal.
- 86 Definir objetivos por área.
- 87 Implantar sistema de apertura de OT's de transporte, desde BaaN.
- 88 Definir funciones para el personal de transportes.
- 89 Establecer procedimientos para la resolución de incidencias de transportes.

La implantación se centró en resolver todos los problemas A y alguno de entre los B. Quedó pendiente para el personal del Grupo resolver todos los C y los B que no había dado tiempo a resolver.

4.2.2. Resultados que se deben conseguir:

- Mejor comunicación interna y con los partícipes: Están definidas y se conocen las funciones y responsabilidades de todo el personal.
- Mejor gestión de averías:
 - Reducción del trabajo administrativo.
 - Menor tiempo de reacción ante desviaciones ya que existe mayor control.
 - Definición y cumplimiento de procedimientos de actuación para cada situación posible.
 - Mejorar la gestión y los informes sobre costes, horas, personal, etc.
- Aumentos de productividad:
 - Poniendo el fichaje en los talleres.
 - Haciendo preparación y planificación de trabajos.
 - Implantando primas de productividad en talleres y patio (para ello es necesario que exista planificación y preparación de trabajos).
 - Reduciendo los paseos al almacén.
 - Llevando un control exhaustivo de la duración prevista con la real de cada OT.
 - Obligando a los partícipes a definir mejor los problemas e incidencias en las máquinas.
 - Iniciando los cursos de formación (influye mucho en la motivación).
 - Manteniendo talleres más ordenados y limpios.
 - Dotando al taller y patio de medios que faciliten el movimiento de piezas y equipos.
 - Dando al personal el utillaje necesario y haciendo que se mantenga ordenado cada taller.

- Realizando una completa implantación de 5S en los talleres (se ha hecho una fase inicial de orden y limpieza que ha mejorado el aspecto de los talleres).
- Implantando sistemas de telediagnos.
- Implantando en obra partes electrónicos de averías.

4.3. Consecuencias (3ª Fase):

Como consecuencia de haber quedado acciones pendientes, el Grupo tiene un importante potencial de mejora y se empezó la realización de este proyecto (ó 3ª Fase) que tiene como objetivos:

- La implantación de un buen Sistema de Gestión de Mantenimiento (GMAO).

La introducción de este sistema de gestionar las averías en el Parque traía consigo un cambio total en los procesos relacionados con el mantenimiento, además de la necesidad de establecer un software de gestión de mantenimiento, pudiendo ser un módulo de BAAN o un programa que interactuase con el ERP.

- Introducir Mantenimiento Predictivo como nueva forma de mantenimiento a través de:
 - Análisis de aceites.
 - Análisis de vibraciones.
 - Análisis termográfico.
- Definir el “contrato” con las empresas cliente del Grupo.

5. TEORÍA DE MANTENIMIENTO

5.1 ¿Qué es el mantenimiento?

“Conjunto de acciones que permiten mantener o restablecer un bien en un estado específico o en la medida de asegurar un servicio determinado”. Según AFNOR (NF X 60-010).

En esta definición AFNOR “olvida” el aspecto económico, laguna llenada en el documento de introducción X6 60-000: “mantener bien es asegurar las operaciones al coste global óptimo”. [1] Pág. 1

El mantenimiento es el conjunto de actividades destinadas a mantener o a restablecer un bien a un estado o a unas condiciones dadas de seguridad en el funcionamiento para cumplir con una función requerida. Estas actividades suponen una combinación de prácticas técnicas, administrativas y de gestión.

El mantenimiento se haya estrechamente ligado a la calidad, puesto que la calidad de la producción depende en gran medida del estado de los equipos. [2] Pág. 19

El mantenimiento sigue siendo en la mayoría de las empresas un centro de costes y no un centro de beneficio. [3] Pág. 41

Con el fin de comprender mejor lo que nos puede reportar el mantenimiento en la industria, algunos autores hacen una analogía con el mantenimiento de la salud en las personas.

Esta analogía permite que se ose dar la siguiente definición: “El mantenimiento es la medicina de las máquinas”. [1] Pág. 2

La citada analogía esta puesta en evidencia en el siguiente cuadro:

SALUD DEL HOMBRE		SALUD-MAQUINA	
Conocimiento del hombre	Nacimiento	Puesta en servicio	Conocimiento de la tecnología
Conocimiento de las enfermedades	Longevidad	Durabilidad	Conocimiento de los tipos de fallos
Carnet de salud	Buena salud	Fiabilidad	Histórico
Dossier medico			Dossier maquina
Diagnostico, examen, visitas	Muerte	Rechazo	Diagnostico, prueba, inspección
Conocimiento de los tratamientos			Conocimiento de las acciones curativas
Tratamiento curativo			Arreglo, reparación
Operación			Renovación, modernización, recambio estándar.
MEDICINA		MANTENIMIENTO INDUSTRIAL	

5.1.1. Problemas habituales de mantenimiento:

Cada responsable de mantenimiento debe conocer a fondo su maquinaria (y a los operarios que trabajan en ellas) de manera que pueda saber que esta ocurriendo de manera inmediata.

Lo ideal para un responsable de mantenimiento sería no tener ningún tipo de fallo o parada de máquinas, pero en la realidad esto no es posible. De manera que será determinante la formación de operarios y el estado en el que se encuentren las máquinas.

Como ejemplo, estos podrían ser los problemas más habituales:

- Elevado nivel de averías.

- Baja disponibilidad de las máquinas y equipos.
- Velocidades de trabajo inferiores a la óptima.
- Duración excesiva de alguna avería.
- Escasa información para solucionar las averías.
- No hay una clara definición de funciones entre Mantenimiento y Producción.

5.1.2. Consecuencias de los problemas de mantenimiento:

Los problemas que ocurran en el mantenimiento tendrán sus consecuencias para el resto de la empresa:

- Baja disponibilidad de las máquinas y equipos.
- Bajos rendimientos o productividad en el trabajo.
- Frecuencia elevada de averías.
- Duración excesiva de la resolución de alguna avería.

5.1.3. Objetivos del mantenimiento:

- Objetivos generales:

Los objetivos perseguidos por la función de mantenimiento se derivan de los objetivos generales que, en el caso de una empresa, parten en principio de la rentabilidad, el crecimiento y la seguridad, así como de los objetivos sociales.

La función mantenimiento debe, por tanto y como todas las demás funciones, contribuir a satisfacer el objetivo esencial; es decir, la rentabilidad y la competitividad de la empresa, así como al eficacia de las administraciones y servicios públicos.

La seguridad de las personas y de los bienes constituye un componente prioritario de los objetivos del mantenimiento. [2] Pág. 68

Más objetivos de mantenimiento:

- Minimizar las pérdidas de la capacidad de producción a causa de las averías.
- Disminuir la influencia de las averías en la calidad de los trabajos.
- Optimizar el uso y los recursos de mantenimiento.
- Reducir las paradas para ajustes, regulaciones, etc.
- Disponer de una amplia base de datos de información sobre mantenimiento.
- Mejorar el trabajo en grupo y la comunicación entre mantenimiento y producción.

- Los "5 anillos (ceros) olímpicos":

Los "5 anillos (ceros) olímpicos" designan un conjunto de objetivos operativos de gestión empresarial, consisten en:

- Cero averías.
- Cero fallos.
- Cero existencias.
- Cero retrasos.
- Cero papel.

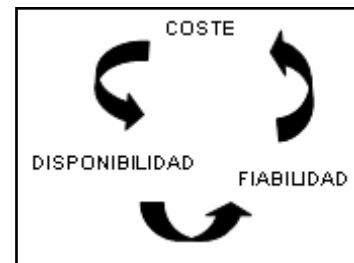
La industria japonesa ha obtenido buenos resultados siguiendo estos principios, particularmente en la industria del automóvil con el método Kanban, o método de los flujos tirantes. Las existencias y los gastos financieros correspondientes quedaron reducidos en gran medida.

Las empresas que compiten entre sí se ven forzadas a actuar, por lo menos, con igual eficacia para mantenerse dentro de los márgenes de competitividad, de manera que una política bien ponderada de mantenimiento puede contribuir a ello eficazmente, en particular en aquellas industrias que utilizan equipos muy costosos:

- El objetivo **cero averías** concierne en gran medida al mantenimiento. De hecho, se trata de un imperativo que afecta a las funciones que ponen en juego la seguridad de las personas.
- El objetivo **cero fallos** se refiere a la gestión de la calidad, si bien el mantenimiento se encuentra estrechamente ligado a ella porque la calidad de la producción depende en gran medida del estado de los equipos, sobre todo en el caso de los equipos automatizados o robotizados.
- El objetivo **cero existencias** concierne igualmente al mantenimiento, en concreto para las organizaciones de flujos tirantes, en las que las existencias en manos de los intermediarios se reducen en gran medida. Tal resultado sólo puede obtenerse con un grado satisfactorio de fiabilidad de los equipos citados.
- El objetivo **cero retrasos** afecta a la función de mantenimiento en cuanto a la duración de sus intervenciones antes los percances, y para reducir el tiempo de inmovilización.
- El objetivo **cero papel** afecta menos directamente al mantenimiento, pero la aplicación de la informática a numerosas funciones del mismo contribuye a su satisfacción. [2] Pág. 70

5.1.4. Formulaciones científicas del mantenimiento:

Hay que trabajar para que el coste, la disponibilidad y la fiabilidad de cualquier equipo sea la óptima en su caso. No sería beneficioso incurrir en un coste demasiado elevado a cambio de obtener una alta fiabilidad, o tener una alta fiabilidad a costa de hacer muchas paradas y perder en disponibilidad. Se necesita tener en cuenta los tres factores para que el mantenimiento sea el más efectivo posible.

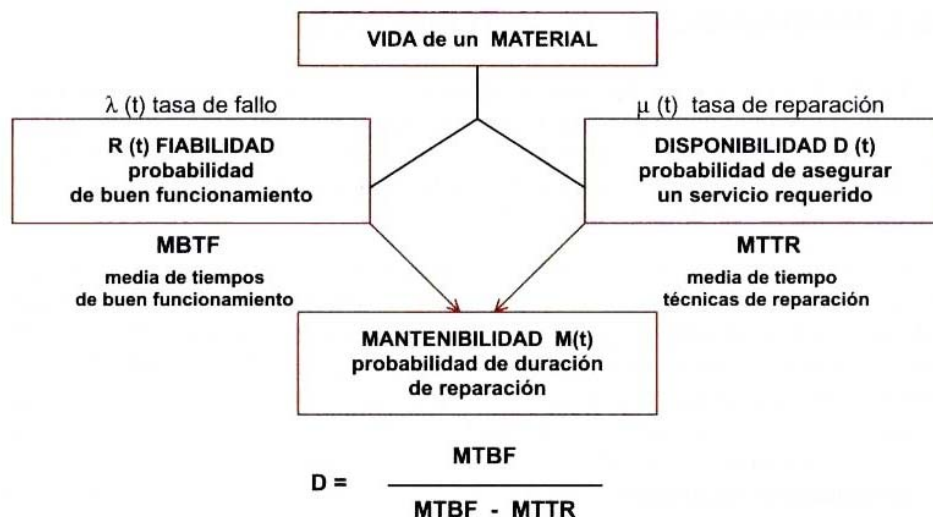


La *fiabilidad* se define como la probabilidad, durante un periodo de tiempo específico, de que el equipo en cuestión pueda realizar su función o su actividad en las condiciones de utilización, o sin avería. La fiabilidad se suele representar con la letra R (de la palabra inglesa "*reliability*") y también como "calidad" en el tiempo. Una medida de la fiabilidad es el MTBF (*Mean Time Between Failures*) o, en castellano, TMEF (Tiempo Medio Entre Fallos). [3] Pág. 63

La fiabilidad concierne no sólo a quienes la conciben y la realizan, sino también a los responsables del mantenimiento, por los motivos concretos siguientes: la selección bien ponderada de nuevos equipos; la definición de la política de manteniendo que se aplicará; en caso de necesidad, la mejora de la disponibilidad de los equipos. [2] Pág. 25

La *disponibilidad* es la probabilidad, en el tiempo, de asegurar un servicio requerido, se puede tomar como el porcentaje de equipos o sistemas útiles en un determinado momento, frente al parque total de equipos o sistemas. μ

Otro factor a tener en cuenta es la *mantenibilidad*, que se define como la probabilidad de que el equipo, después de fallo o avería sea puesto en estado de funcionamiento en un tiempo dado. Una medida de la mantenibilidad es el MTTR (*Mean Time to Repair*) o TMDR en castellano (Tiempo Medio de Reparación). [3] Pág. 63



En la expresión de disponibilidad $D = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR}$, el MTTR engloba todas las paradas del sistema, equipo o instalación, pues la sumatoria $\sum_{i=1}^m TTR_i$ no diferenciaba entre paralizaciones correctivas o preventivas.

De este razonamiento se deduce que hay dos ratios de control asociados:

$D = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR_1}$, donde R_1 son las reparaciones asociadas a fallos o averías.

$$D = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR_2}$$
, donde R_2 son las revisiones sistemáticas preventivas.

Como $MTTR = MTTR_1 + MTTR_2$, habrá tres líneas de mejora de la disponibilidad:

- Mejora asociada a reducir cuantitativamente el número de fallos, que redundará en aumentar el MTBF.

- Mejora asociada a disminuir los $MTTR_1$, o a reducir los tiempos de reparación de averías.

- Mejora asociada a disminuir los $MTTR_2$, o reducir las paralizaciones por mantenimientos preventivos, mediante programaciones de actividades más a la medida (predictivas), reduciendo o eliminando el preventivo que no añada valor, o atomizando los planes de mantenimiento en pequeñas operaciones que pueden programarse aprovechando otras paradas.

La Tasa de Fallos se conoce como $\lambda = \frac{1}{MTBF}$.

La Tasa de Reparación $\mu_1 = \frac{1}{MTTR_1}$

La Tasa de Revisiones $\mu_2 = \frac{1}{MTTR_2}$

} μ

$\mu = \text{Tasa de paralización} = \frac{1}{MTTR_1 + MTTR_2}$

La disponibilidad instantánea de uno de los sistemas que estamos manteniendo se ajusta a la fórmula:

$$D(t) = \frac{\mu}{\mu + \lambda} + \frac{\lambda}{\mu + \lambda} e^{-(\mu + \lambda)t}$$

En esta fórmula la disponibilidad instantánea $D(t)$ es igual a la probabilidad de funcionamiento correcto del sistema o probabilidad de 0 fallos.

Si se considera un conjunto de equipos o sistemas homólogos trabajando en el mismo contexto operacional y entorno, las curvas globales de fallos se obtienen como “curvas de tendencias”. Si, por ejemplo, un sistema electromecánico se ajusta, en cuanto a su fiabilidad, a la curva de bañera, es como si sus componentes tuvieran estadísticas de fallos ajustadas a campanas de Gauss y el resultado de fiabilidad global fuese como el de la figura 5.1:

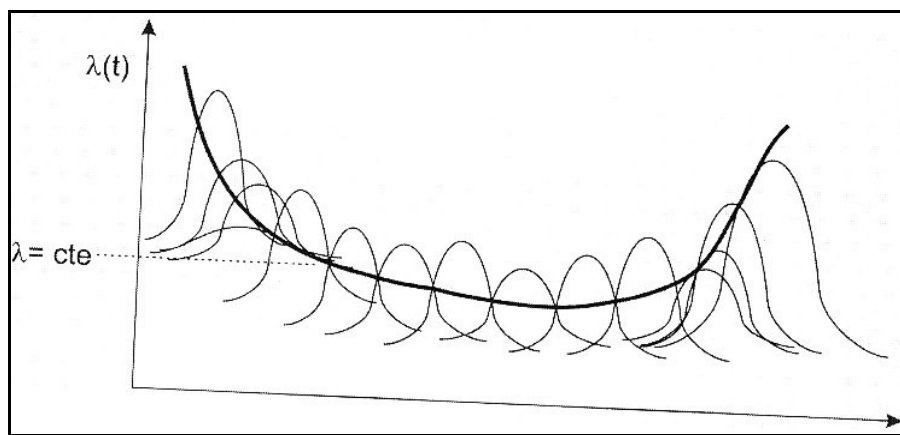


Figura 5.1 Curva de bañera ajustada a campanas de Gauss.

La densidad de probabilidad de fallos $F(t)$ es:

$$f(t) = \frac{dF(t)}{dt} = \frac{d[1 - R(t)]}{dt} = \lambda e^{-\lambda t}$$

En este caso, y analizando el periodo de vida útil, la tasa de fallo es:

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} = \frac{\lambda e^{-\lambda t}}{e^{-\lambda t}} = \lambda = cte$$

La tasa de fallos $\lambda(t)$ es la tasa o nivel de llegada de trabajos correctivos a mantenimiento:

$$\lambda(t) = \frac{F(t)}{\int_0^T R(t) dt}$$

De igual manera la programación de acciones preventivas programadas es:

$$\rho(t) = \frac{R(t)}{\int_0^T R(t)dt}$$

Y el trabajo que matemáticamente tiene que asumir Mantenimiento como programando más averías, por tanto, y sin considerar actividades extraordinarias, provocadas, etc., será:

$$\lambda + \rho = \frac{F(t)}{\int_0^T R(t)dt} + \frac{R(t)}{\int_0^T R(t)dt} = \frac{F(t) + R(t)}{\int_0^T R(t)dt} = \frac{1}{\int_0^T R(t)dt}$$

La fiabilidad se relaciona con la duración media entre fallos, MTBF, a través de la expresión:

$$MTBF = E(t) = \int tf'(t)dt = \int_0^\infty R(t)dt$$

Estadísticamente hay diversas leyes que pueden representar la evolución de la aparición de fallos, como la ley de Gauss, la ley exponencial $R(t) = e^{-\lambda t}$, la ley de Weibull $R(t) = e^{-\left(\frac{t-\gamma}{n}\right)^\beta}$ y otras. Ésta en particular nos permite correlacionar con el factor de forma β la etapa de vida en que se encuentra el material. [3] Pág. 66

5.2. Tipos de mantenimiento:

A groso modo y diferenciados por su concepción existen a día de hoy tres tipos de mantenimiento: correctivo, preventivo y predictivo.

La utilización de uno de ellos no quitará que se puedan utilizar los demás en un mismo equipo. Lo más importante será saber en que momento es más necesario la utilización de uno u otro.

En la actualidad el mantenimiento se plantea a partir de su misma concepción, examinando los posibles fallos, sus consecuencias y previendo los dispositivos de diagnóstico, con la intención de estimar el coste global del ciclo de vida; es decir, desde una óptica de coste global mínimo en cuanto a adquisición y a utilización.

Al mejorar las tecnologías también es necesario que la mano de obra sea más cualificada. Por que será este personal el que dedicará una gran parte de su tiempo a optimizar la organización del mantenimiento, a aprovechar la "base de datos del mantenimiento", buscando los mejores métodos y medios de diagnóstico ante un determinado incidente.

Una buena gestión del mantenimiento representa un medio eficaz para reducir los costes e incrementa la competitividad de las empresas.

[1] Pág. 13

5.2.1. Mantenimiento correctivo:

Se refiere al *conjunto de actividades realizadas tras el fallo de un bien o el deterioro de su función, para permitirle cumplir con una función requerida, al menos, de manera provisional*. Concretamente, el mantenimiento correctivo comprende:

- Localización de fallos y su diagnóstico.
- Reparación con o sin modificaciones.
- Control del buen funcionamiento.

En la siguiente figura se muestra un gráfico referido al mantenimiento correctivo (figura 5.2).

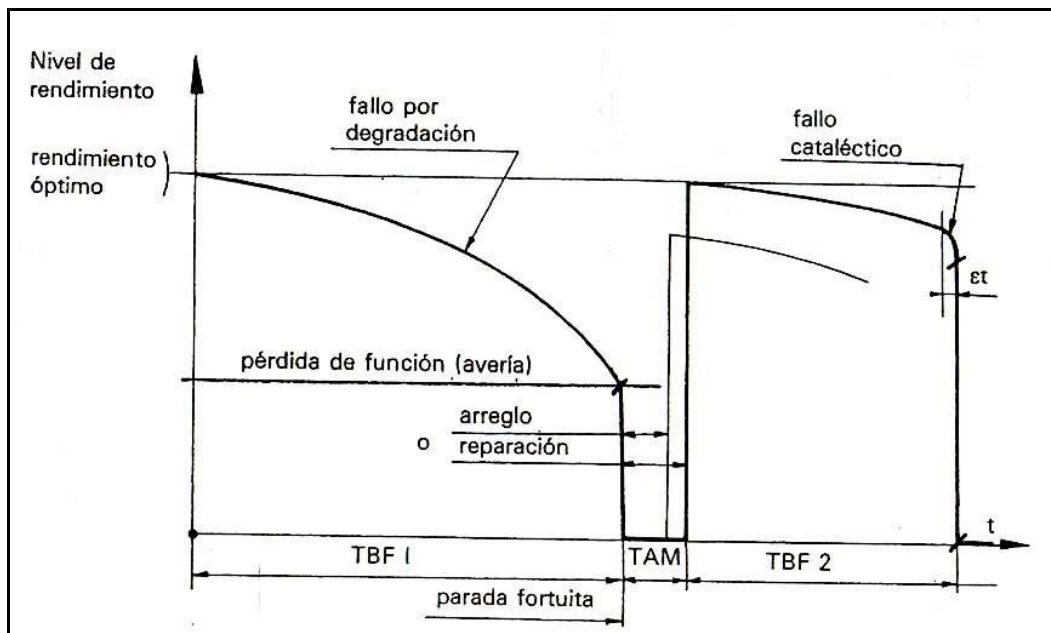


Figura 5.2 Ley de degradación desconocida.

El mantenimiento correctivo se basa fundamentalmente en dos tipos de intervenciones:

5.2.1.1. Mantenimiento paliativo:

Actividades de mantenimiento correctivo destinadas a permitir que un bien cumpla provisionalmente con todo o parte de una función requerida. Suele llamarse "arreglo", el mantenimiento paliativo se compone, principalmente, de una serie de acciones de carácter provisional, a las que deben seguir acciones definitivas.

5.2.1.2. Mantenimiento curativo:

Actividades de mantenimiento correctivo que tienen por objeto restablecer un bien a un estado específico que le permita cumplir una función requerida. El resultado de las actividades realizadas debe presentar un carácter permanente, pudiendo tratarse de:

- Reparaciones.
- Modificaciones o mejoras que tengan por objeto suprimir el fallo.

La función relativa al mantenimiento constituye una necesidad, y se revela como indispensable para asegurara la disponibilidad de los equipos, al tiempo que reviste una gran importancia para la seguridad de las personas y de los bienes. [2] Pág. 20

5.2.2. Mantenimiento preventivo:

Según la norma AFNOR (X60-010), "Mantenimiento efectuado con la intención de reducir la probabilidad de fallo de un bien o la degradación de un servicio prestado".

Es una intervención de mantenimiento prevista, preparada y programada antes de la fecha probable de aparición de un fallo. [1] Pág. 44

El mantenimiento preventivo tiene a su vez diversas fuentes de origen y, según éstas, su revisión y modificación podrá o no ser posible, en otros casos, porque se haya corroborado la eficacia de la periodicidad definida, como puede ser en las sustituciones periódicas de aceites y lubricantes y, en otros casos, porque dichas periodicidades sean de obligado cumplimiento por legislaciones o reglamentos o, quizás, porque nosotros mismos hayamos creído conveniente estipular y definir de manera inamovible un determinado mantenimiento de seguridad.

En la siguiente figura se muestra un gráfico referido al mantenimiento preventivo (figura 54.3).

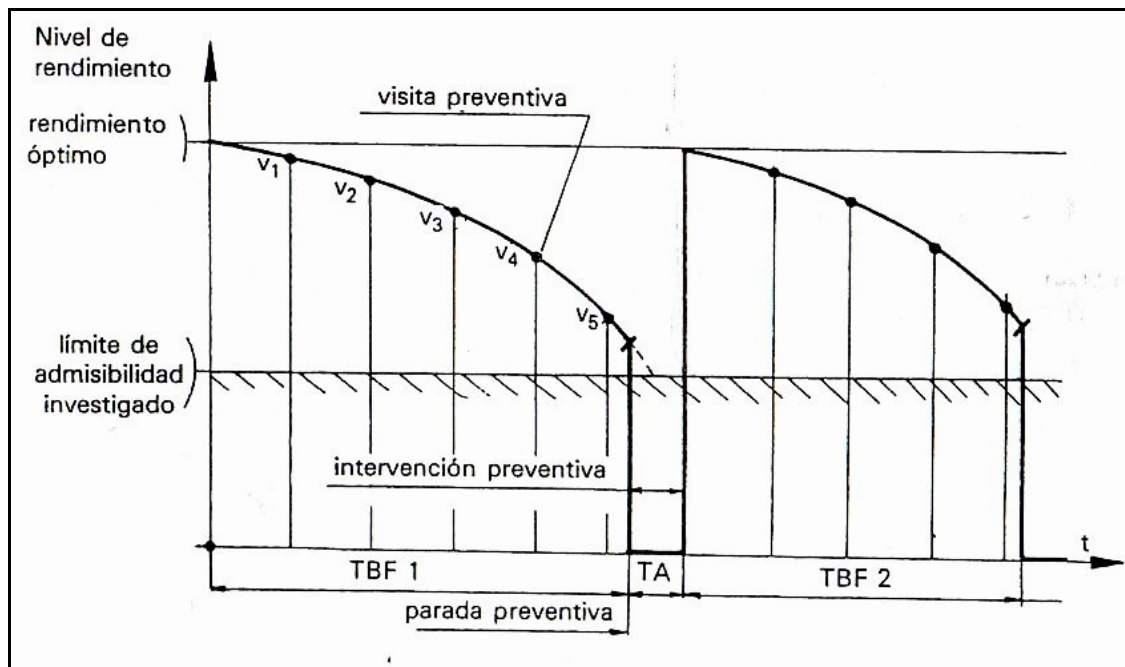


Figura 5.3 Ley de degradación investigada.

(Entre dos visitas puede aparecer un fallo cataléctico que implique una intervención correctiva). [1] Pág. 39

5.2.2.1 Mantenimiento periódico o sistemático:

Según la norma X 60-010 "es un mantenimiento preventivo efectuado según una secuencia establecida a partir de un número predeterminado de unidades de utilización, con el objetivo de reducir la probabilidad de fallo o deterioro de un bien o de un servicio prestado".

Se podría utilizar cualquier otra definición, pero el resultado será el mismo: el mantenimiento sistemático es aquel predefinido con base en un plan que establezca intervenciones periódicas y sistemáticas según el tiempo, según las horas de trabajo, según el kilometraje, etc. a la postre se usa una variable independiente a las intrínsecas a la propia máquina para realizar la programación de intervenciones. Se trata de abordar a través de él tanto los controles reglamentarios, como los controles no sujetos a una obligación legal.

El mantenimiento periódico o sistemático tiene su fundamento en la conocida curva de bañera (figura 5.4)

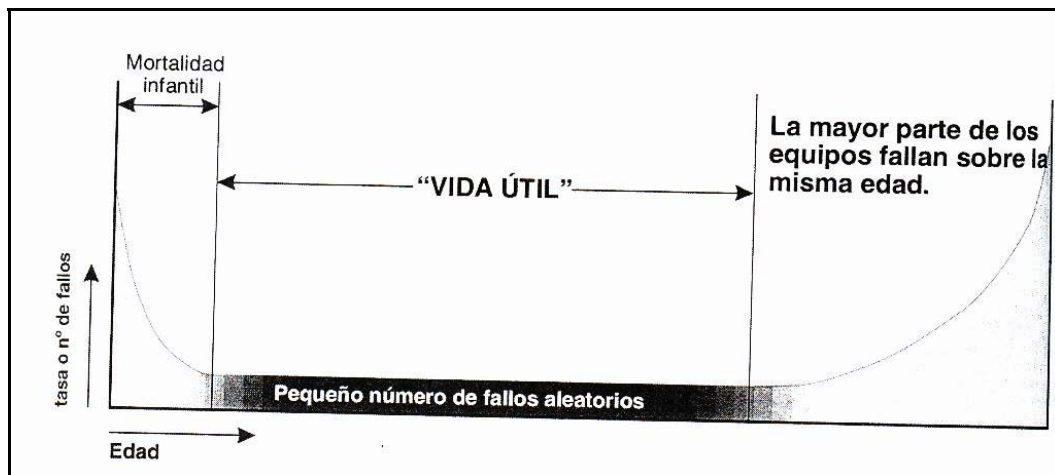


Figura 5.4 Tradicional curva de bañera.

En el eje de ordenadas se suele representar la probabilidad de fallo o el número de averías y en el eje de abscisas, la edad, entendiendo como tal el parámetro de medida que se elija.

En cualquier equipo, desde un punto de vista tradicional, la fase de puesta a punto o puesta en operación del mismo se caracteriza por un número de averías superiores a la considerada normal durante su explotación. Este periodo, comúnmente denominado "mortalidad infantil", va decreciendo a medida que va pasando el rodaje inicial, se van implementando las primeras modificaciones definidas durante la puesta en marcha o se van optimizando los primeros ajustes y software.

A continuación tenemos un periodo relativamente dilatado en el que la probabilidad de fallos o número de averías es más o menos constante, produciéndose los mismos de manera totalmente aleatoria y sin una causalidad claramente identificada. Este periodo, más el anterior, se denomina vida útil.

Por último, y para terminar de describir dicha curva, se comienza un periodo en el que la mayor parte de los equipos fallan a la misma edad y, en teoría, ése sería el momento de llevar a cabo la revisión preventiva sistemática al sistema para volver a posicionarlo en una situación, llamémosla asumida, correspondiente a las averías de vida útil. Realmente en ese punto de revisión periódica sistemática se comienza un ciclo parecido a cuando el equipo era nuevo; esto es, la propia revisión periódica induce una serie de fallos por manipulaciones, por paralización del sistema, etc. que conlleva una cierta mortalidad infantil adicionada a la propia intervención; tal como pasaba con el proceso previo de la puesta a punto. Si lo anteriormente dicho hubiese estado basado en el conocimiento previo del comportamiento del

material o del sistema en el tiempo, las intervenciones sistemáticas se programarían siguiendo una periodicidad suficientemente contrastada, bien por la experiencia de situaciones y contextos homólogos anteriores por parte del constructor o suministrador, o bien por los resultados operacionales obtenidos por nosotros mismos en situaciones y ensayos anteriores. Lo cierto es que esto no siempre es así. El momento en el que se lleva a cabo la intervención preventiva suele estar definido desde un punto de vista teórico y, en el mejor de los casos, extrapolando sin más una teoría o una experiencia de un contexto muy diferente al de nuestra explotación o nuestra planta.

La definición científica del momento de una revisión periódica sistemática, debería hacerse basándose en la función de distribución de averías, de forma que, definiendo de antemano un correctivo residual imposible de eliminar, por ejemplo entre el 5 y el 10%, cuando el número o probabilidad de fallos superase estadísticamente dicho valor es cuando debería hacerse la intervención. En la figura 5.5 se refleja lo que se quiere decir comparando dos distribuciones normales del mismo MTBF promedio pero con desviaciones típicas diferentes.

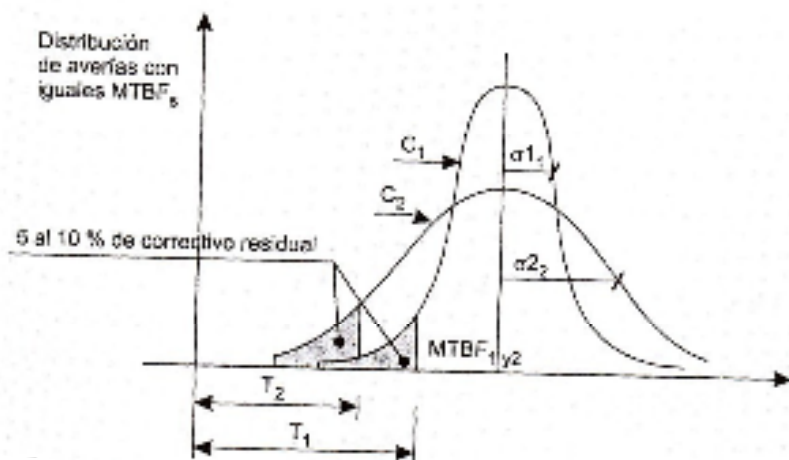


Figura 5.5 Comparación de dos distribuciones normales.

En el primer caso, la intervención se programaría para el punto T_1 . Sin embargo, para el segundo caso la intervención debería ser en un punto T_2 diferente al anterior, de lo que se deduce que para una misma duración media de un determinado subconjunto la desviación típica de fallos, caso de ser demasiado alta para la curva C_2 , quizás llegara a impedir la eficiencia de la puesta en práctica de un mantenimiento sistemático, debiéndose considerar la posibilidad de llevar a cabo mantenimientos condicionales alternativos a los planificados de forma rígida, en aras de una búsqueda de eficacia de nuestras intervenciones.

Por todo esto es necesario que el responsable de Mantenimiento sea absolutamente riguroso a la hora de definir las periodicidades de los mantenimientos preventivos de los periódicos sistemáticos y, para ello, sin lugar a dudas deberá tener en cuenta las recomendaciones del constructor, su propia experiencia adquirida durante el funcionamiento del sistema y durante la reparación de averías y la explotación fiabilística realizada a través del estudio del histórico del sistema, del análisis previsional de la fiabilidad y de la optimización de los niveles preventivo-correctivo, para encontrarnos en una zona de admisibilidad de resultados-costes que nos ayuden a definir un plan de mantenimiento eficiente. Si no lo hacemos así, se puede encubrir un efecto inhibitorio, pues nos estaremos apoyando en hipótesis de MTBF o tasas de fallo constantes para un equipo que quizás a medida que envejece modifica la sistemática de sus fallos y la evolución y desviación de sus MTBF, encontrándonos en una situación como la de la figura 5.6. [3] Pág. 123

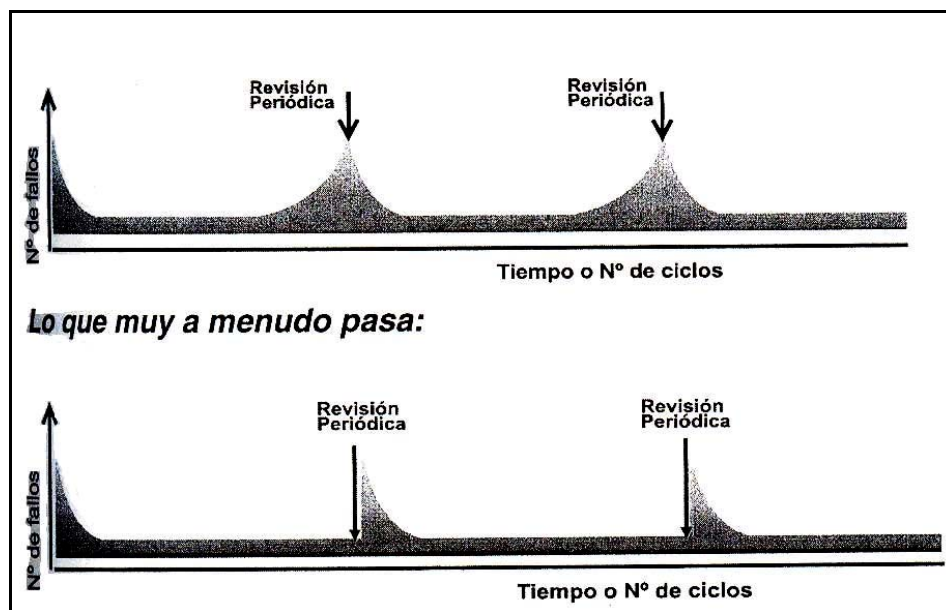


Figura 5.6 Comparación entre los manuales y la realidad.

- Ventajas del mantenimiento periódico o sistemático:

A efectos del mantenimiento preventivo, el mantenimiento sistemático permite:

- Evitar un deterioro significativo de muchos componentes, reduciendo así los costes de reparación.
- Disminuir los riesgos de averías, así como los costes resultantes de la falta de disponibilidad o del deterioro de la función de los equipos.

- Incrementar la seguridad de las personas y de los bienes, disminuyendo las probabilidades de accidente.
- Efectuar en buenas condiciones las operaciones de mantenimiento programadas y/o preparadas de antemano. [2] Pág. 151

5.2.2.2. Mantenimiento reglamentario o legal:

Uno de los aspectos en el que la mayoría de los responsables de Mantenimiento están adquiriendo cada día mayor sensibilidad es el relativo a las inspecciones y operaciones reglamentarias de mantenimiento y aquellos requisitos normativos de su planta, instalación o sistema debe mantener.

Es de destacar que la responsabilidad de que se realicen las inspecciones periódicas en los plazos exigidos por las leyes o normas es de los titulares de las propias instalaciones, y que, en caso de no llevarse a cabo, pueden ser objetivo de expedientes sancionadores, paralización de la propia actividad si hay peligro manifiesto para las personas o las cosas y, por último, responsabilidades legales asociadas.

En principio es importante conocer de antemano la Ley 21/1992, de 16 de julio, el Real Decreto 2200/1995, de 28 de diciembre, por el que se aprueba el Reglamento de la Infraestructura para la Calidad y al Seguridad Industrial, y la Ley 13/1987, de 9 de julio, relativa a la seguridad de las instalaciones industriales. [3] Pág. 117

5.2.3. Mantenimiento predictivo:

El Mantenimiento Predictivo debe entenderse como aquella metodología que basa las intervenciones en la máquina o instalación sobre la que se aplica, en la evolución de una determinada variable que sea realmente identificadora de su funcionamiento y fácil de medir.

Esta simple definición indica que la gran diferencia ente este tipo de mantenimiento y el sistemático, entendiéndose ambos según normativa EN 13306 como Mantenimientos Preventivos, es que uno planifica intervenciones de forma constante y con base en una periodicidad concreta, un número de kilómetros, unas horas de

funcionamiento, etc., pero siempre las mismas, y otro tipo de mantenimiento, el predictivo, no define ninguna periodicidad concreta, sino que aconseja el lanzamiento de una orden de trabajo preventiva cuando la variable medida comienza a encontrarse en una zona de peligrosidad funcional de la máquina y, lógicamente, siempre antes de que se produzca el fallo catastrófico.

El de mantenimiento predictivo se puede explicar con la siguiente curva P-F (figura 5.7); en la que simboliza cómo al variable medida va evidenciando un determinado nivel de deterioro de la máquina a partir del punto P, para que, antes de que ésta falle, punto F, se produzca la intervención.

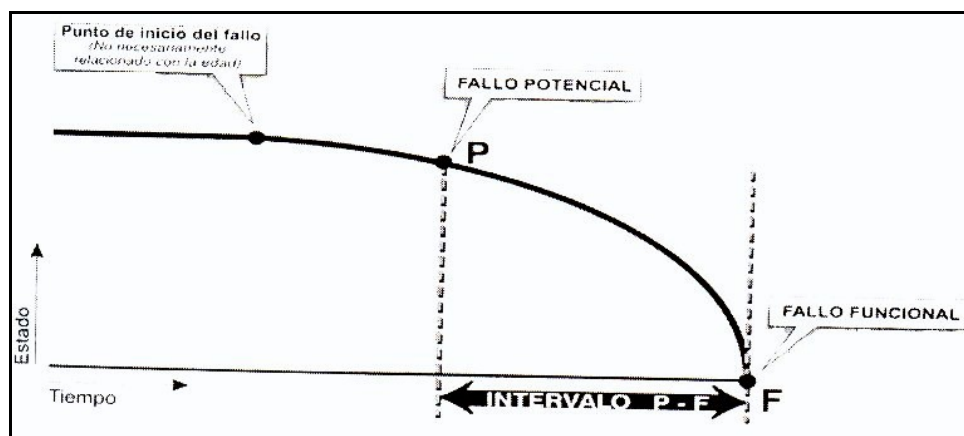


Figura 5.7 Fallos potenciales, el intervalo P-F.

La dificultad de implantar este tipo de mantenimiento es, en primer lugar, la localización de dicha variable identificadora y, en segundo lugar, correlacionar niveles de aceptación o rechazo de dicha variable con estados reales de la máquina fácilmente medibles.

El mantenimiento predictivo debe verse complementado por la utilización de técnicas estadísticas. No es un tipo de mantenimiento que se base en la intuición y en la experiencia solamente del operador o del técnico. Es un mantenimiento que se apoya en mediciones rigurosas de variables y tratamiento de dichas medidas, experiencias concretas anteriores, en tendencias evolutivas de dichas variables, en curvas de regresión de fallos y, a la postre, en una rigurosa predicción de las condiciones futuras del equipo o sistema basándose en las condiciones presentes que estemos midiendo.

En cualquiera de las tecnologías predictivas y dada su filosofía en no actuar de forma rutinaria sino según la evolución de la variable medida, se hace preciso cambiar la filosofía de lanzamiento de órdenes, que en los mantenimientos de Segunda Generación era muy fácil planificar. Ahora no lo es tanto, pues la orden de trabajo preventiva hay que lanzarla en el momento oportuno, con un cierto margen; pero no antes por razones económicas, ni después, ya que corremos un gran riesgo de sufrir una avería catastrófica.

5.2.3.1. Análisis de vibraciones:

El mantenimiento predictivo mediante vibraciones es, hoy en día, uno de los métodos concretos en los que más se ha avanzado dentro de las tecnologías de mantenimiento de Tercera Generación.

Su fundamento es relativamente simple: por muy perfectas que sean todas las máquinas, tuberías, válvulas, intercambiadores de calor, etc., vibran en funcionamiento, y dentro de dicha vibración se almacena gran cantidad de información que puede ser útil para conocer el estado de la máquina. Esto es, analizando “la forma de vibrar” se puede deducir el estado con una eficaz base de datos y análisis de tendencias, se puede programar la intervención preventiva para el momento en que realmente es necesaria, es decir, cuando las condiciones de deterioro han pasado de un determinado punto y antes de que se llegue a producir la avería o el paro de la misma.

- Fundamento físico-matemático del procedimiento:

En esencia, el análisis predictivo basado en vibraciones se fundamenta en transformar una señal captada en función del tiempo al dominio de frecuencia, o sea, amplitud en función de frecuencia, o viceversa.

Este cambio al análisis de frecuencia se puede hacer gracias a la Teoría de Fourier, y que interrelaciona matemáticamente los parámetros tiempo-frecuencia, mediante las dos fórmulas que se exponen a continuación:

$$G(f) = \int_{-\infty}^{\infty} g(t) e^{-j2\pi ft} dt$$

El proceso matemático comienza fundamentándose en el Teorema de Parseval, que nos indica cómo puede la energía de una determinada señal, expresada en función del tiempo, expresarse en función de frecuencia, según la siguiente fórmula:

$$g(t) = \int_{-\infty}^{\infty} G(f) e^{j2\pi ft} dt$$

Si $g(t)$ no es una función periódica, se puede interpretar como de período infinito y, de esta forma, también hacemos pasar valores instantáneos a valores modulares al cuadrado.

Nos damos cuenta de que ya estamos representando todo el análisis en el plano positivo, por lo que podríamos obtener el espectro de potencia. Si queremos, por último, representar el valor eficaz de cada componente, sólo tendríamos que realizar la raíz cuadrada y obtener el espectro de frecuencia.

De forma esquemática, se representa lo expuesto anteriormente, pasando de una medición de una onda periódica $F(t)$ a otras de función $G(f)$, recordando que $n\omega = n2\pi f$, en la figura 5.8.

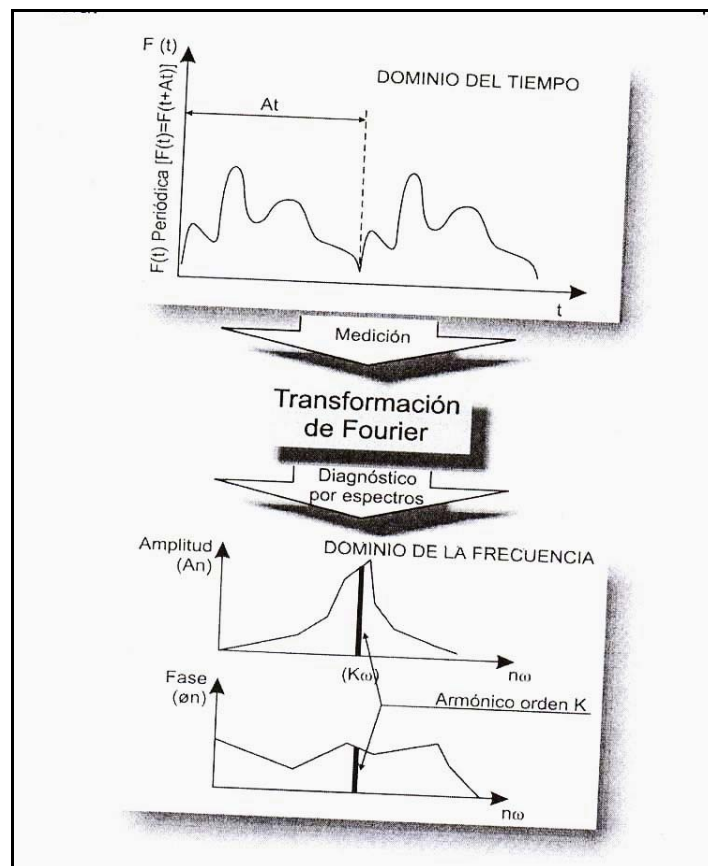


Figura 5.8 Transformación de Fourier.

Cada frecuencia corresponde a un elemento o subconjunto concreto de la máquina y a un problema en el mismo. Si somos capaces de correlacionar los niveles, o potencias vibratorias a dichas frecuencias, con deterioros progresivos, podremos predecir, antes del fallo catastrófico, cuál es el momento idóneo de realizar la intervención preventiva. Para ello es necesario conocer cuáles son los modos naturales de vibración de la máquina y los niveles de vibración de la máquina en perfectas condiciones; esto es, nuevo o recién revisado con sustitución integral de elementos sometidos a desgaste y, en cualquier caso, tras el periodo básico de rodaje. En la siguiente figura simboliza la comparativas q se persigue entre los espectros medidos y los de referencia o bases (figura 5.9).

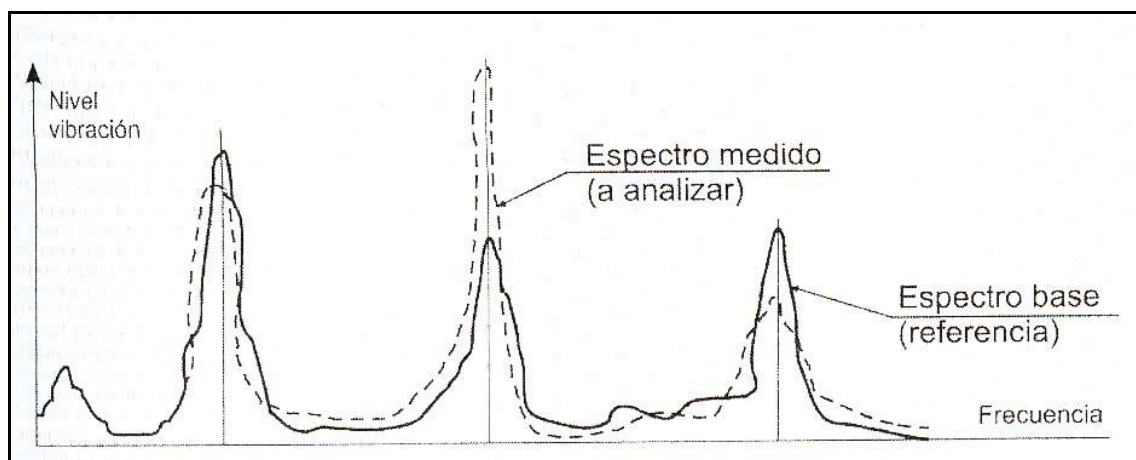


Figura 5.9 Evolución de niveles vibratorios (bases y medidos).

- Sistemas y equipos de medida:

La cadena de instrumental y medios que se suele utilizar en el análisis de vibraciones esta compuesta, de forma general, por los siguientes equipos:

- Transductores:

Se colocarán efectuando un contacto mecánico excelente con la parte vibrante que se ha elegido. Deben ser robustos, fiables y capaces de soportar ambientes severos, debiéndose tener especial cuidado con los conectores de los mismos.

Pueden ser de muy diversos tipos:

Mecánicos: De difícil aplicación para estos casos, aunque se han usado históricamente para bajas frecuencias y grandes amplitudes, por su gran economía.

Inductivos: Fundamentados en que la vibración se transmite directamente a un núcleo ferromagnético. Tienen gran resolución y baja impedancia, pero no alcanzan frecuencias muy elevadas y requieren alimentación exterior, conllevando una circuitería compleja.

Capacitivos: Basados en que la vibración hace variar la distancia entre placas de un condensador. Tienen una gran sensibilidad y son válidos para una amplia gama de frecuencias, pero son difíciles de calibrar, necesitan alimentación eléctrica y son sólo válidos para vibraciones de amplitud pequeña.

Mediante transformador: Fundamentados en que el secundario varía de posición con la superficie vibratoria. No poseen contactos ni partes móviles, pero tienen una respuesta en frecuencia pequeña y es necesario hacer complejas calibraciones.

De velocidad: Caracterizados por autogenerar corriente eléctrica, ya que se basan en una masa magnética suspendida que vibra, rodeada por una bobina. Tienen gran impedancia, suelen ser de gran tamaño y no válidos para frecuencias muy elevadas. Asimismo, suelen ser delicados y sensibles.

De aceleración: Suelen ser los más extendidos, por tener gran exactitud y linealidad. Son costosos, aunque en los últimos años están bajando significativamente sus precios, su funcionamiento puede ser servocapacitativo, potenciométrico, piezorresistivo, de galgas extensiométricos, etc.

La elección de dichos transductores dependerá de la gama de frecuencias de trabajo que vamos a mediar y, por tanto, de si la variable a medir va a ser desplazamiento, velocidad o aceleración. Una representación esquemática de los límites entre unos y otros se aporta en la siguiente figura (figura 4.10).

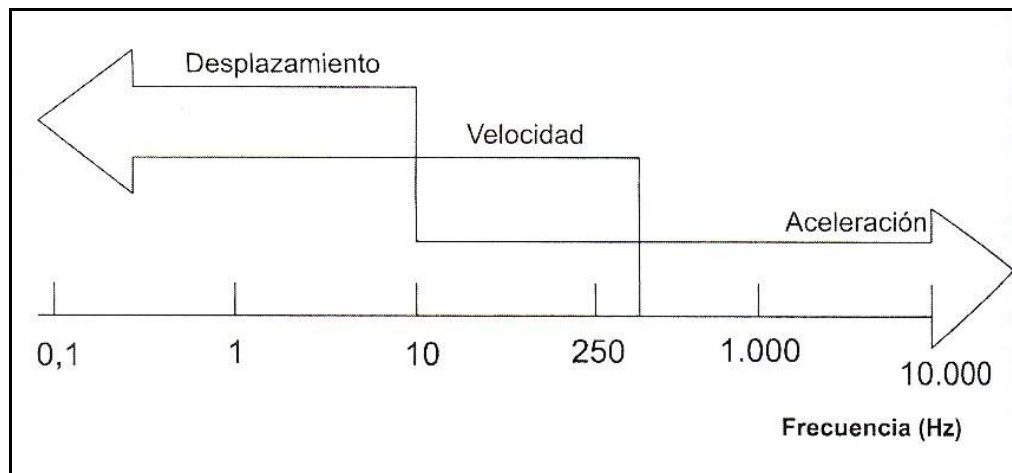


Figura 5.10 Parámetro a medir en función de frecuencias.

- Cables:

Puede parecer superficial hacer una referencia con especial hincapié en la importancia de los cables, pero su transcendencia es, en muchos casos, vital para la implantación de análisis de vibraciones.

La misión de los cables es transmitir señales sin alteraciones, que en la mayoría de los casos se conocen como "ruidos". Los ruidos pueden deberse a la propia capacidad del cable, a variaciones de capacidad y a campos electromagnéticos, si no se encuentran bien aislados.

Existen numerosos tipos de cables para esta aplicación, pero hay tres que se usan con mayor asiduidad:

Cables de teflón: De alta calidad y bajo ruido, de dos conductores y malla, válidos para grandes vibraciones y distancias cortas entre equipos. Se utilizan para las primeras etapas de medida. Son caros.

Cables para sistemas multicanal: Tipo PVC multipar, válidos para distancias más largas. Se emplean para las segundas etapas de medida.

Cables comunes: Sólo se utilizan en el caso de que los preamplificadores y equipos de medidas se encuentren muy cerca de los transductores.

- Amplificadores:

Es relativamente normal que la señal procedente de los captadores sea muy pequeña y de elevada impedancia, por lo que necesita un paso de amplificación antes de su posterior medida y análisis, sobre todo si la medida la hacemos en una zona muy alejada de la máquina, como ocurre en los sistemas de monitorización centralizados.

Los amplificadores que se utilizan suelen ser de voltaje y los de carga, usados sobretodo para el caso de utilización de acelerómetros.

Lo que normalmente se exige a cualquier amplificador es que sea de muy bajo ruido, gran linealidad y poca distorsión.

- Registradores y ordenadores:

Hasta hace poco, de la etapa de amplificación se pasaba directamente a un analizador, utilizándose los registradores fundamentalmente para tener un soporte documental de archivo, por lo que los mismos solían ser registradores galvanométricos o similares para exteriorizar, por ejemplo en papel, los resultados obtenidos.

Actualmente se suelen invertir estas dos últimas etapas de medida, efectuándose previamente el registro, normalmente en memoria estática del ordenador, para pasar con posterioridad a su análisis en el propio ordenador.

No es preciso profundizar sobre los tipos de registradores magnéticos existentes en el mercado, pues cada vez se utilizan menos y se sustituyen por ordenadores de mercado, más económicos y con capacidades de almacenamiento y tratamiento posterior de señales muy superiores.

- Analizadores:

Al igual que se ha tratado anteriormente, las etapas de análisis se han visto modificadas sustancialmente en los últimos años, pasando de analizadores analógicos, digitales o de FT al análisis generalizado mediante ordenador, existiendo muy diversas aplicaciones en el mercado y casa especializadas que suministran el software para ese uso.

5.2.3.2. Análisis de aceites:

El mantenimiento predictivo basado en los análisis químicos de aceites y de las partículas que tienen los mismos en suspensión es un método extremadamente útil. Muchos son los laboratorios que, con suficiente equipamiento, experiencia y metodología, son capaces de ayudarnos a establecer criterios de aceptabilidad y rechazo de estos aceites y sus partículas en suspensión y, por añadidura, de ayudarnos a determinar no sólo los periodos óptimos de sustitución de los mismos sino las causas que están originando su degradación y contaminación.

- Introducción y fundamentos físicos:

Una de las pérdidas más significativas en el funcionamiento de máquinas es debida a la fricción. Sabemos que la potencia absorbida por una máquina se transmite o convierte perdiendo una parte de la misma; pérdida que es inversamente proporcional al rendimiento.

En el caso que nos ocupa, relativo a las pérdidas mecánicas, éstas pueden distribuirse a su vez, en cuatro tipos de pérdidas (figura 5.11):

- Pérdidas por fricción hidrodinámica o fluida.
- Pérdidas por fricción semiseca o mixta.
- Pérdidas por fricción metal-metal, seca o límite.
- Pérdidas por rodadura y cojinetes.

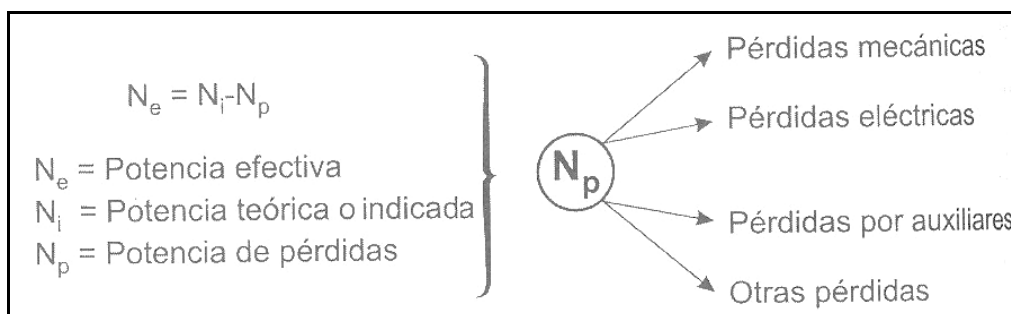


Figura 5.11 Tipos de pérdidas.

La lubricación óptima desembocaría en pérdidas por fricción sólo hidrodinámica o fluida, en la que las superficies metálicas están siempre separadas por una película de lubricante y, en consecuencia, la fuerza de fricción y sus pérdidas asociadas son función de la viscosidad del aceite.

La realidad es que no siempre se garantiza la total separación entre las superficies metálicas y hay momentos que hay contactos metal-metal localizados. Porcentualmente estos casos puntuales y extraordinarios no son importantes desde el punto de vista del rendimiento, pero sí desde el desgaste.

La fricción metal-metal aparece en condiciones anormales de funcionamiento y suele desembocar en un fallo catastrófico rápido.

La degradación llamémosla normal del aceite tiene dos enfoques, por tanto, en cuanto a mantenimiento predictivo: uno asociado a la propia fricción hidrodinámica o fluida basada en la viscosidad y características químicas del propio aceite y sus aditivos, y otro asociado a las pérdidas por fricción semiseca o mixta, que implica contactos entre metales y posibilidad de contaminación del propio aceite con partículas desprendidas de dichos metales.

La degradación del aceite desde el punto de vista químico es más conocida, y deriva siempre en la definición de periodicidades de sustituciones preventivas del aceite. La periodicidad del cambio sistemático es fácil de definir mediante análisis parciales en laboratorio que dan, con gran rigurosidad, el momento e intervalo ideal de cambio.

La degradación del aceite por fricción semiseca o mixta se basa en investigar la evolución de contaminantes metálicos y químicos ajenos al propio aceite en el tiempo, tanto desde el punto de vista cualitativo como cuantitativo.

Cada máquina tiene una velocidad de polución diferente, dependiente de su tipo, su diseño, contexto de trabajo y entorno.

5.2.3.3. Termografía:

La termografía es una técnica de mantenimiento predictivo con aplicaciones muy concretas en mantenimiento basadas en el hecho de que todos los cuerpos, por estar a una temperatura superior a 0 absoluto emiten una radiación electromagnética. Como es sabido, una de las

evidencias o variables más claramente identificadoras de la degradación funcional de un gran número de elementos es la temperatura.

Dicha temperatura provoca, una radiación, y los sistemas de termografía infrarroja son capaces de captar dicha radiación y de convertirla en una imagen que representa la distribución de temperatura superficial del objeto observado. Si se detecta un punto, zona o componente anormalmente caliente respecto a zonas colaterales con homólogo funcionamiento, estaremos detectando una anomalía. Asimismo, si un determinado componente va degradándose, siendo capaces de mantener un registro de mediciones de temperatura en el tiempo podremos obtener la perseguida curva P-F para intervenir preventivamente antes del fallo catastrófico.

La radiación que nos ocupa fue establecida por Max Planck según unas leyes asociadas a la distribución de energía de emisión de las diferentes temperaturas de un cuerpo negro (figura 5.12). Dichas leyes de radiación indican que las diferentes temperaturas adquiridas por un cuerpo caliente van a traducirse en energía radiada en diferentes longitudes de onda.

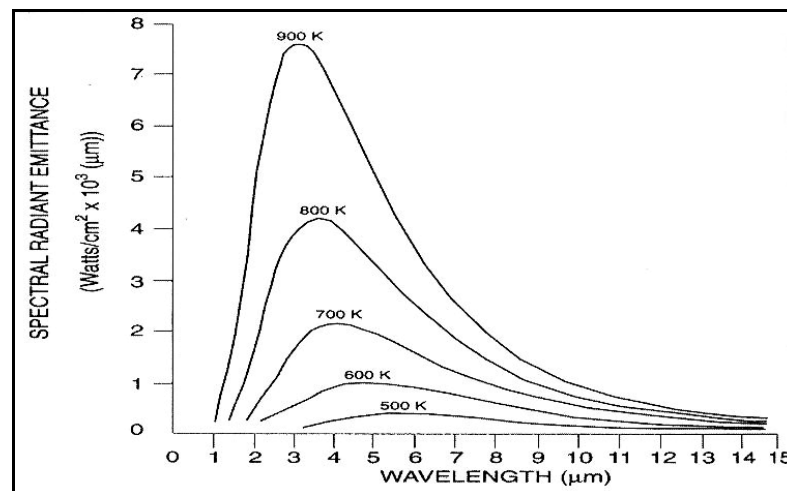


Figura 5.12 Ley de Planck.

Además de las leyes de Planck, la radiación se estudia con base en la Ley de Stefan Boltzmann, que establece una proporcionalidad entre la radiación emitida y la temperatura del objeto que estamos analizando. El poder emisor de un cuerpo es proporcional a la cuarta parte potencial de su temperatura absoluta, según la siguiente fórmula:

$W = \sigma \varepsilon T^4$	$\left\{ \begin{array}{l} W = \text{radiación emitida} \\ \sigma = \text{constante de Boltzman } (5,8 \times 10^{-8} \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-4}) \\ \varepsilon = \text{emisividad} \\ T = \text{temperatura} \end{array} \right.$
------------------------------	--

El sistema de mantenimiento predictivo basado en termografía se fundamenta en principio en captar, mediante una cámara, la emisividad de la superficie del equipo, conexión o componentes que estamos analizando según el simple esquema de la figura 5.13. Dichas cámaras son especiales, según sean de onda corta o de onda larga y según sea su resolución y precisión; desde cámaras portátiles para temperaturas próximas a la ambiente, hasta sistemas enfriados criogénicamente.

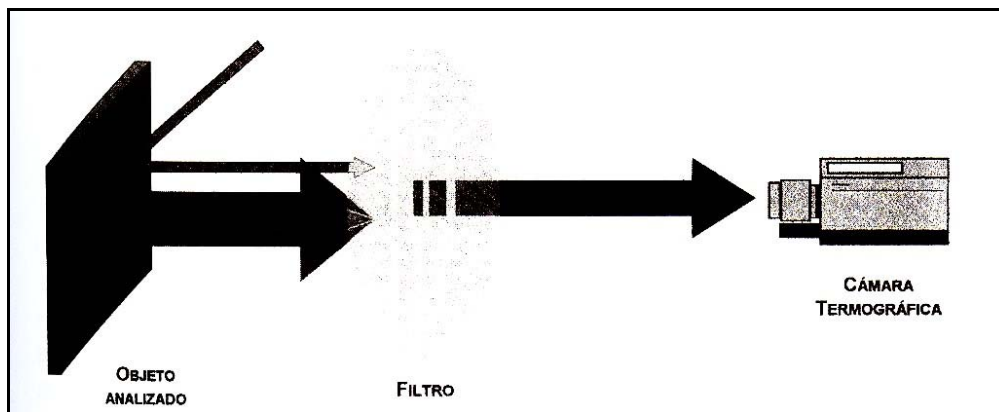


Figura 5.13 Esquema básico de captación por termografía.

Estas medidas por infrarrojos tienen muchas ventajas, pues posibilitan además obtener la temperatura de objetos móviles y con difícil acceso. Al ser una técnica sin contacto, no interfiere con el funcionamiento y comportamiento propio del elemento que estamos analizando y, además, tiene la ventaja de poder captar grandes superficies con un tiempo rápido de respuesta y con una elevada precisión y repetitividad, por lo que es fácil realizar un archivo histórico de estas medidas.

Uno de los problemas que suelen encontrarse los técnicos de mantenimiento para aplicar esta técnica predictiva es la baja accesibilidad a elementos que deben ser medidos, puesto que, como es obvio, en una tarjeta electrónica las condiciones de funcionamiento para detectar un componente anormalmente caliente son diferente si



la tarjeta esta en su alojamiento, o si esta se encuentra fuera de su conexión. [3] Pág. 133

5.3. Etapas del mantenimiento

Aparece una primera etapa, aproximadamente entre 1930 y 1950 o la Segunda Guerra Mundial, en la que las actividades de mantenimiento se ceñían a reparar aquello que se averiaba, y a periódicos engrases, lubricaciones y limpiezas. Denominada **Primera Generación**.

A partir de la Segunda Guerra Mundial, seguramente motivado por avances en sectores industriales fabriles para la industria armamentística y por la evolución del mundo de la aviación, nos encontramos en otra etapa muy diferente que se ha denominado **Segunda Generación**. En ella se definen como objetivos las disponibilidades operacionales de los medios de producción, barcos, aviones y ferrocarriles. Se definen asimismo como objetivo el que los equipos duren lo máximo posible en condiciones operativas idóneas y todo ello con los costes más bajos posibles. La enorme competencia industrial habida entre 1950 y finales de los años 70, con la incorporación de los fabricantes orientales al mundo competitivo occidental, es uno de los desencadenantes de una continua búsqueda de mejores resultados.

En esta **Segunda Generación**, para intentar conseguir los objetivos se ponen en marcha sistemas de mantenimiento preventivo basados, en revisiones cíclicas a los equipos e instalaciones y medios en general. Estas revisiones cíclicas se definen con base en la conocida “curva de bañera”, en la que, básicamente para equipos mecánicos y electromecánicos, tras un periodo de mortalidad infantil en el que se llevan a cabo los primeros ajustes y puestas en marcha y se producen los fallos de falta de calidad básicamente de subconjuntos, aparece un periodo continuo de vida útil en el que no es necesario intervenir en el elemento salvo para subsanar un pequeño número de averías, ciertos reengrases o inspecciones puntuales. Estas revisiones cíclicas se definen según cada sector por número de horas de trabajo, numero de horas de vuelo, kilómetros recorridos, etc.

Obviamente, el mantenimiento de **Segunda Generación** incorpora las reparaciones precisas en caso de fallos o reparaciones programadas.

La optimización de este mantenimiento de **Segunda Generación**, basado por tanto en mantenimientos preventivos rutinarios y mantenimiento correctivo, se fundamenta en avanzados sistemas de planificación de actividades y de control de los trabajos realizados; entendiendo por control tanto el lanzamiento de órdenes de trabajo

como la retroalimentación y verificación de los datos habidos en estas órdenes de trabajo:

- Equipo, instalación o sistema afectado (código)
- Subsistema o componente averiado (código)
- Agentes que han realizado la intervención
- Horas de trabajo invertidas
- Horas de trabajo que ha durado la paralización
- Repuestos consumidos
- Centro de coste, etc.

A medida que a partir de los años 70 se generalizó el uso de herramientas informáticas, todos estos sistemas de planificación y todas estas actividades de control se han ido implementando en bases de datos informatizadas, cuyo tratamiento ha optimizado los sistemas de toma de decisiones. Asimismo, asociado a este auge de la informática han aparecido en el mercado herramientas de software para facilitar a los responsables de Mantenimiento todos estos trabajos de planificación y control.

En la década de los 80, y aunque, en la aviación se comenzó a reconsiderar este mantenimiento casi diez años antes, se llegó a la conclusión de que el mantenimiento de **Segunda Generación**, una vez optimizado en cuanto a las periodicidades y consistencias de las citadas revisiones cíclicas preventivas y una vez optimizados los sistemas de planificación y control, entraba en una situación de estancamiento; esto es, los índices más definitorios de cualquier actividad de mantenimiento: la fiabilidad, la disponibilidad y los costes, se estabilizan. Ello fue objeto de reflexiones por los principales expertos mundiales del mantenimiento, concluyendo que esta situación de estabilización o estancamiento se alcanzaba en un determinado límite en el que cualquiera de los tres ratios a mejorar implicaba el detrimento o empeoramiento de una de las dos asociadas. Así pues, si queríamos optimizar los costes minimizando los insumos de repuestos o minimizando la mano de obra, la disponibilidad y / o la fiabilidad se veían reducidas; si pretendíamos aumentar la disponibilidad minimizando las paradas por revisión, la fiabilidad empeoraba, y si queríamos mejorar la fiabilidad mediante mayor estudio y análisis de las averías repetitivas o complejas

o mediante la implantación de reformas en los equipos o instalaciones, la disponibilidad empeoraba.

Ante dicha situación de estancamiento, en los años 80 se empezó a hablar del mantenimiento de **Tercera Generación**. Este mantenimiento fundamenta sus objetivos, en primer lugar, en los tres anteriormente expuestos –disponibilidad, fiabilidad y costes–, pero aborda complementariamente otros aspectos relativamente poco analizados y perseguidos en etapas anteriores; la seguridad en los últimos veinte años del siglo XX pasó a ser prioritaria, con una gran tendencia a las emisiones de normativas, reglamentaciones, leyes, órdenes, etc. enfocadas hacia este aspecto. La calidad en los servicios de mantenimiento también empezó a tomar auge; la publicación de la *norma ISO 9000* en 1984, en su versión *ISO 9002* se dirigía básicamente a empresas de servicios y supuso un empuje importante en este aspecto. La protección del medio ambiente también pasó a ser un aspecto crucial en cualquier actividad de mantenimiento. La publicación de la *norma ISO 14000*, supuso un importante avance. La duración de los equipos mediante el análisis detallado de los costes del ciclo de vida pasó a ser determinante en las decisiones de compra de los nuevos equipos. Ya no era solo importante que el sistema, instalación o equipos fuera fiable y mantenible, era necesario que su coste total de ciclo de vida, entendiendo como tal la primera inversión, los costes financieros y los costes de operación, mantenimiento y reemplazarlo, fueran los menores posibles.

Por último, en este mantenimiento de **Tercera Generación**, la observancia de la normativa adquiere una importancia primordial. Son muchas las Administraciones estatales, autonómicas y locales que abordan reglamentaciones específicas de mantenimiento; así pues, aparecen reglamentos de aparatos a presión, equipos de manutención y transporte, etc. este aspecto toma también relevancia y define lo que se ha convenido en llamar, dentro de los mantenimientos preventivos, mantenimientos legales o reglamentarios.

Era obvio que todos estos nuevos objetivos no podían ser abordados con un sistema como el de **Segunda Generación**, estancado. Las exigencias de los equipos directivos aumentaban y el equilibrio estable de la disponibilidad, fiabilidad y coste no permitía cambios al jefe de mantenimiento, sin detrimento de alguna otra variable. Era preciso cambiar la filosofía del mantenimiento.

La filosofía y técnicas del mantenimiento de **Tercera Generación** se basan en la incorporación de nuevos métodos más proclives a intervenir en los equipos e instalaciones solo cuando es necesario. Se tiende en esta nueva forma de entender el mantenimiento a no

establecer actividades preventivas rutinarias, salvo que las mismas sean de obligado cumplimiento o tengan una eficacia y rentabilidad contrastada; así pues, aparecen los Mantenimientos según Condición o peritados previamente, los mantenimientos predictivos encaminados a intervenir en la máquina antes de que se produzca el fallo o deterioro catastrófico, pero gracias al análisis de la evolución de una variable que realmente significa y determine el estado de la máquina. En paralelo, otras muchas técnicas (*Reliability-Centered Maintenance*- RCM-, *Total Productive Maintenance* – TPM-, etc.) intentan hacerse un hueco en el mercado.

Se aborda también la necesidad de que para aumentar la fiabilidad y la mantenibilidad, es preciso contemplar en el diseño y proyecto de equipos o instalaciones este aspecto. En lo existente ya en servicios, se plantea la necesidad de hacer reingeniería, entendiendo como tal no sólo la definición de una transformación o modificación, sino la revisión partiendo desde cero de los procesos de mantenimiento.

El análisis de riesgos se presenta como una herramienta importante para las nuevas estrategias de mantenimiento. Si el fallo de un equipo no supone ningún riesgo o dicho riesgo es mínimo y asumible, quizás sea más rentable dejar que falle. Los sistemas expertos que ofrece el mercado se incorporan masivamente a los elementos eléctricos, electrónicos y electromecánicos.

Los análisis de causas y efectos de los fallos aparecen también sobre el tapete. No solamente hay que analizar la avería, sino que hay que ver sus causas dentro de un contexto operacional determinado. Los mismos equipos e instalaciones no fallan igual en un lugar u otro. Las causas son diferentes, luego las acciones también deben ser diferentes.

Para acabar conviene hablar de los recursos humanos; de la situación relativamente totalitaria entre 1950 y 1970-75, en la que los operarios se debían limitar a hacer lo que se les dijese, se pasa a partir de 1980, a abordar metodologías de participación. Los sistemas de calidad japoneses, aportan iniciativas como los grupos de calidad, grupos de mejora, etc., que, a la postre, inyectan en las empresas las conveniencias técnicas y tácticas de involucrar y corresponsabilizar a los mandos y operarios en las decisiones de los equipos técnicos u directivos. Esta participación, con independencia del método que se implemente, provoca un cambio en las relaciones humanas de los departamentos de mantenimiento.

Por último, y a partir sobre todo de 1980, también aparece en el sector de mantenimiento una nueva variable: la externalización. La contratación externa de actividades de mantenimiento se presenta

como una iniciativa interesante para reducir costes en primera etapa y para aumentar la flexibilidad, acceder a expertos y centrarse en su labor principal de apoyo a los equipos directivos fiables. En la figura 5.14 se contempla en la parte inferior los objetivos que de forma generalizada se han ido marcando las empresas a lo largo de los decenios expuestos y, en la parte superior, los medios con que, también de forma generalizada, han utilizado para intentar alcanzar dichos objetivos.

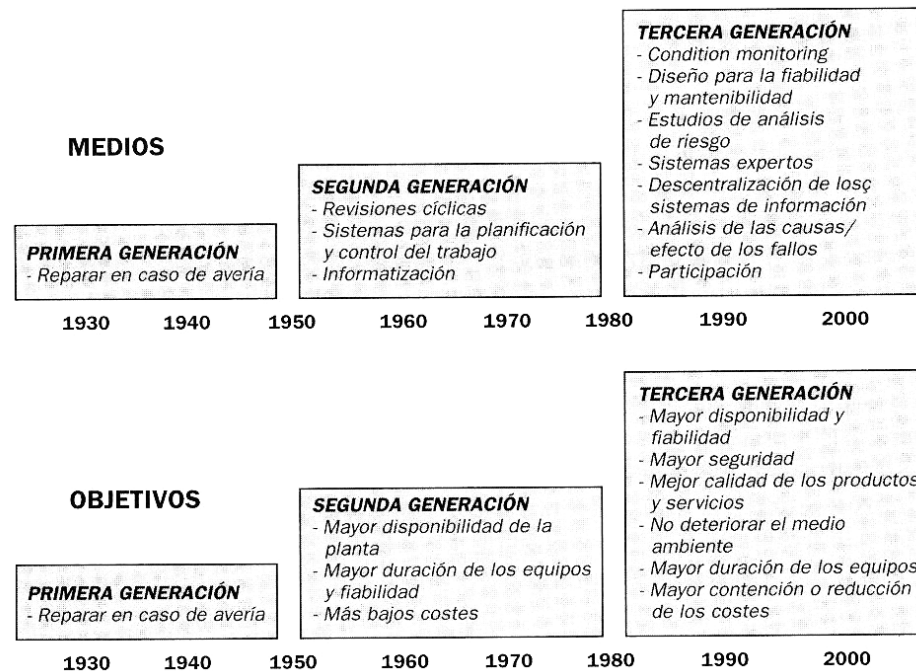


Figura 5.14 Medios y objetivos marcados por las empresas en las distintas generaciones.

En el mantenimiento de **Cuarta Generación** se refleja la necesidad de integrar todos los nuevos conceptos de mantenimiento que en los últimos decenios del siglo XX se han planteado de forma excesivamente aislada. Así pues, los nuevos conceptos de RCM o los de TPM no se pueden aplicar como si en sí mismo fueran ya la "filosofía salvadora de nuestro departamento". Son conceptos filosóficos o "mantecnologías" organizativas que pueden ser y son válidas, pero solo para un determinado aspecto de nuestro mantenimiento. Nunca deben considerarse como técnicas únicas y excluyentes.

Otro enfoque que toma gran fuerza en estos años finales del siglo XX y comienzos del XXI es la gestión de mantenimiento orientada no a

resultados técnicos de mi propio departamento, sino a los clientes. No puedo quedarme satisfecho si el operario de las máquinas de mi planta se está quejando continuamente de la suciedad de las mismas o de los fallos de pintura que tienen, o de las tolerancias que no se mantienen. La tendencia en la gestión de mantenimiento es la mostrada en la figura 5.15.

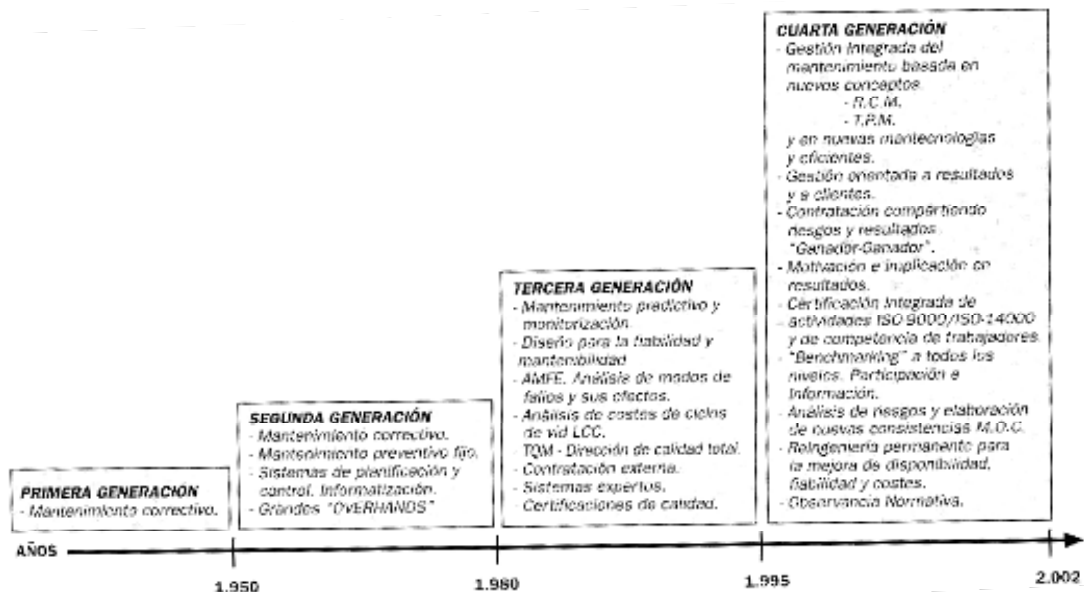


Figura 5.15 Tendencias en la gestión de mantenimiento.

También un aspecto diferenciador con respecto a etapas anteriores se refiere a la externalización o contratación de las actividades. En el siglo XXI se profundizará en la idea de contratación externa como búsqueda de mejora de costes y de mejora simple del servicio prestado. Los nuevos contratos "ganador-ganador", se elaborarán y redactarán intentando hacer que el adjudicatario del servicio de mantenimiento que hemos contratado no acabe "aburriéndose" de hacer siempre la misma actividad y, a fuerza de obtener permanentemente los mismos ingresos, caiga en un tedio y estabilización de los resultados. El objetivo de estos nuevos contratos es hacer más atractiva la actividad del mantenimiento, motivando a llevar a cabo procesos de mejora continua con la filosofía "cuanto más ganas tú más gano yo", lo que implicará el establecimiento de ratios medibles y objetivos e identificadores claros de nuestra actividad, para saber de que posición partimos y para que el contratista y sus subcontratistas

persigan mejoras de los mismos. Ello implicará, al igual que si de nuestro propio equipo técnico y humano se tratara, una mayor motivación y una implicación más fuerte en los resultados. No hablaremos solo de penalizaciones ante incumplimientos; hablaremos y cuantificaremos penalizaciones en casos negativos, pero bonificaciones también en casos positivos.

Las aisladas certificaciones de calidad y medio ambiente ya no tendrán un tratamiento individual. Se tiende a alcanzar certificaciones integradas tanto en los aspectos de aseguramiento y garantía de calidad como en protección del medio ambiente, seguridad de los trabajos y competencia de los trabajadores.

Se va a seguir profundizando en dar participación a los trabajadores y de informar de los resultados, sus avances y retrocesos. El “benchmarking” se abordará a todos los niveles. Ello significa que no nos compararemos solamente con nosotros mismos en cuanto a resultados anteriores / resultados actuales. Nos tendremos que comparar con las mejores empresas del sector y saber como consiguen ellos mejoras en aquellos aspectos diferenciadores. [3] Pág. 29

5.4. Otros tipos de mantenimiento

5.4.1. Mantenimiento Total de la Productividad (TPM)

La disciplina de origen japonés TPM supone un método específico de mantenimiento con el que se intenta reducir los costes de fabricación. Sus inicios datan de los años 1970-1980, si bien no comenzó a desarrollarse hasta el inicio de la década 1980-1990 bajo la tutela del grupo JMA (Asociación Japonesa de la Gestión), organismo privado que aglutina a cerca de 1000 miembros en Japón, y que cuenta con una filial en Europa.

Ante todo, el grupo JMA contribuyó al desarrollo de la industria japonesa al introducir los métodos estadounidenses de gestión y, en particular, el mantenimiento productivo que, posteriormente, fomentaron la aparición de métodos específicos de gestión mas apropiados, tales como el Mantenimiento Total de la Productividad (TPM).

Esencialmente, se trata de una extensión del mantenimiento productivo a la totalidad del personal de la empresa, siguiendo un rumbo análogo a de la Gestión para la calidad total o Total Quality Management (TQM), en el que la búsqueda de la calidad se convierte en responsabilidad de todos los empleados en lugar de competencia exclusiva del Departamento de Calidad.

El método deriva de la evolución general de la industria japonesa, caracterizada por:

- La diversificación, así como los ciclos de vida cada vez más cortos de los productos.
- El desarrollo de las máquinas automáticas y de los robots.
- La desafección del personal en lo que al trabajo en las líneas de producción se refiere, lo que se hace muy verosímil al tener en cuenta el nivel de los estudios en Japón.
- La evolución de las mentalidades, en el sentido de pasar de un planteamiento en el que la función de las personas en un entorno de equipos automatizados consistía en la supervisión, a otro posterior en el que el objetivo debería ser centrarse en mejorar el funcionamiento de las máquinas para hacerlas cada vez más eficaces.

El método japonés TPM, que tiende a reducir al máximo los costes de producción gracias a la mejora de los equipos en servicio, apunta también a reducir los retrasos atribuibles a la puesta en marcha de equipos nuevos con el fin de optimizar el coste global de adquisición y de utilización e, incluso, al diseño de equipos de producción simples y funcionales, especialmente adaptados para las tareas previstas.

De hecho, el método TPM se integra en el conjunto de métodos de gestión de las empresas japonesas punteras como, por ejemplo:

- El Sistema Total de la Producción o TPS, encaminado a la integración de las máquinas en el proceso productivo, desde la implantación de las máquinas hasta llegar al producto, asentado sobre la racionalización de los procesos y los productos, y la ordenación concreta según el método Kanban, con vista a reducir también de forma sistemática los costes de fabricación. De acuerdo con el esquema de la figura 5. 16.

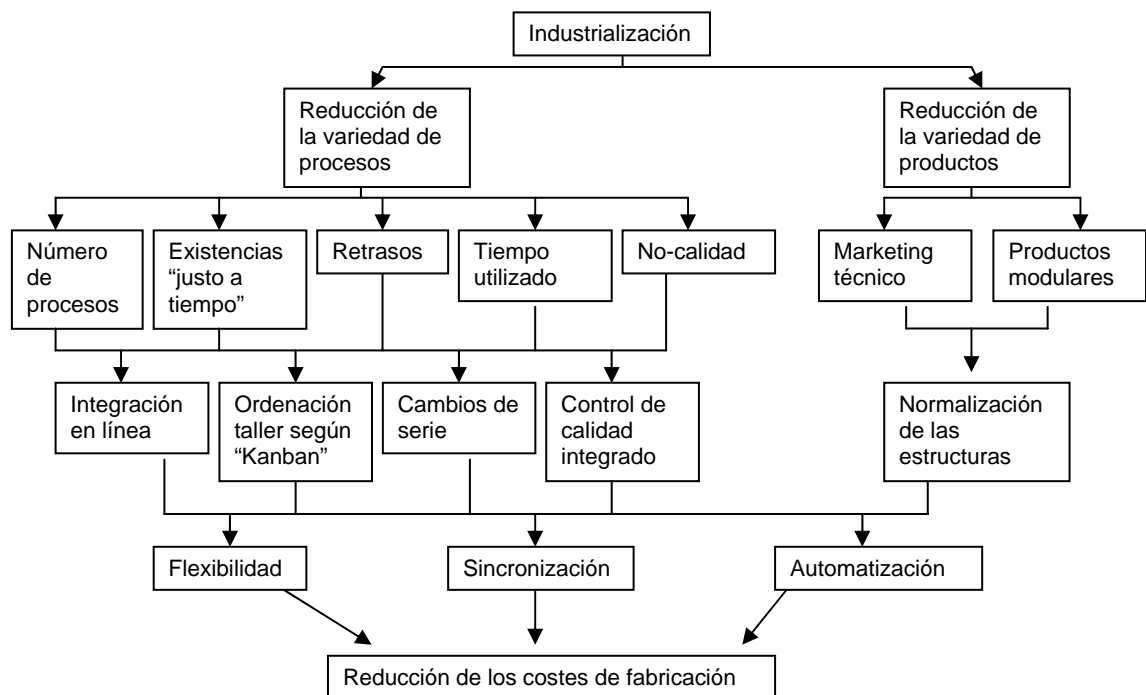


Figura 5.16 Integración de TPM en la gestión del mantenimiento.

- La Gestión Total de la Calidad o TQM, en la que el objetivo de la calidad se extiende a la totalidad del personal, así como a los retrasos y a los costes (figura 5.17).

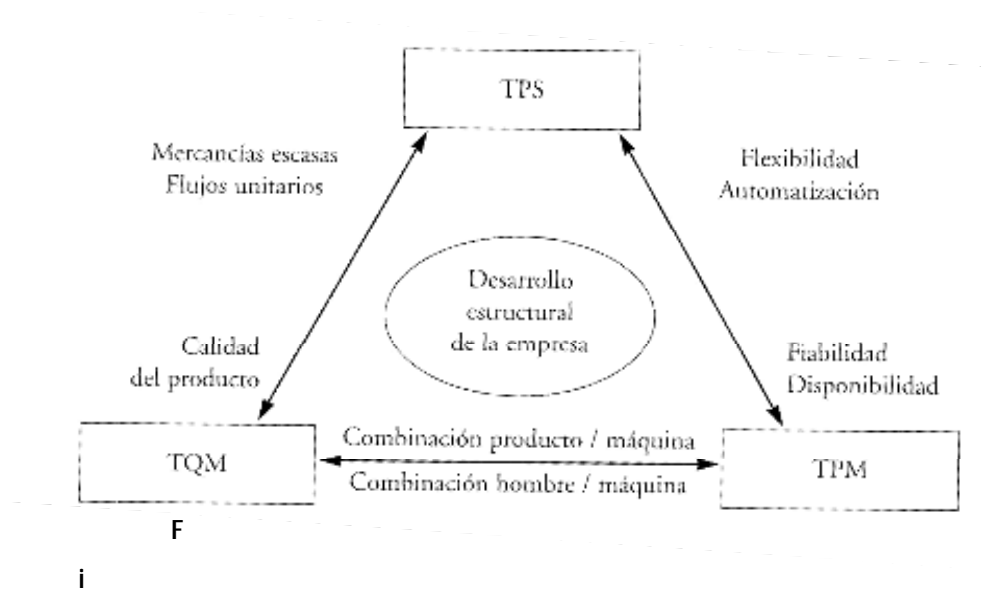


Figura 5.17 Esquema de integración del TPS.

El método TPM se presenta, pues, como una nueva filosofía del mantenimiento, integrado en la gestión de la producción con una aproximación global y con la finalidad de conseguir la máxima reducción posible de los costes de producción. [2] Pág. 52

El programa TPM se diseñó para materializar eficazmente la política básica expresada en la misión corporativa: "Productos avanzados para una sociedad avanzada".

Esta política corporativa abarca los siguientes propósitos:

- Alcanzar una calidad de primer nivel mundial.
- Planificar un crecimiento corporativo apropiado para un liderazgo en nuestros negocios.
- Promover una investigación tecnológica creativa y desarrollo de productos.
- Promover una mayor eficiencia a través de una mayor flexibilidad.
- Revitalizar los talleres y aprovechar lo mejor del talento de los empleados.

- POLÍTICA BÁSICA Y OBJETIVOS TPM:

Los cinco puntos de la política TPM:

1. Maximizar la eficacia global del equipo a través de la implicación total de los empleados.
2. Mejorar la fiabilidad y mantenibilidad de los equipos como factores contribuyentes a la calidad, y a la elevación de la productividad.
3. Promover la máxima economía de los equipos y gestión de su vida entera de uso.
4. Cultivar el "expertise" relacionado con los equipos y las capacidades de los operarios.
5. Crear un entorno de trabajo vigoroso y entusiasta.

- PROGRAMA DE DESARROLLO TPM:

Para crear un programa de desarrollo que trasladase las políticas TPM básicas a objetivos concretos a nivel de taller, se establecieron cuatro objetivos de calidad de talleres para la división de la producción:

1. Eliminar el deterioro acelerado.
2. Eliminar fallos.
3. Eliminar defectos.
4. Operar rentablemente.

Las cinco actividades TPM fundamentales:

- Mantenimiento autónomo.
- Mejora del equipo.
- Mantenimiento de calidad.
- Creación de un sistema MP.
- Formación y entrenamiento. [5] pag 21

El objetivo del TPM debe ser el de obtener la máxima eficiencia de los equipos junto al máximo rendimiento de los operarios. En base a estos objetivos, y en la medida que se puede agilizar la gestión de la obtención de información de las averías, paradas funcionales, breves o inducidas, las frecuencias de todas ellas, así como el tipo de averías, las actividades de mantenimiento realizadas, los recambios utilizados y los

que están en stock, etc., en la medida de que ello sea así, decimos, la eficacia en la actuación y el rendimiento de la gestión de mantenimiento mejorarán. [4] Pág. 257

5.4.2. Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM)

La *confiabilidad* se puede definir como la capacidad de un producto de realizar su función de la manera prevista. De otra forma, la confiabilidad se puede definir también como la probabilidad en que un producto realizará su función prevista sin incidentes por un período de tiempo especificado y bajo condiciones indicadas.

La ejecución de un análisis de la confiabilidad en un producto o un sistema debe incluir muchos tipos de exámenes para determinar cuan confiable es el producto o sistema que pretende analizarse.

Una vez realizados los análisis, es posible prever los efectos de los cambios y de las correcciones del diseño para mejorar la confiabilidad del sistema o producto.

Los diversos estudios del producto se relacionan, vinculan y examinan conjuntamente, para poder determinar la confiabilidad del mismo bajo todas las perspectivas posibles, determinando posibles problemas y poder sugerir correcciones, cambios y/o mejoras en productos o elementos.

El RCM es uno de los procesos desarrollados durante 1960 y 1970 con la finalidad de ayudar a las personas a determinar las políticas para mejorar las funciones de los activos físicos y manejar las consecuencias de sus fallas. Tuvo su origen en la Industria Aeronáutica. De éstos procesos, el RCM es el más efectivo.

El Mantenimiento RCM pone tanto énfasis en las consecuencias de las fallas como en las características técnicas de las mismas, mediante:

- Integración de una revisión de las fallas operacionales con la evaluación de aspecto de seguridad y amenazas al medio ambiente, esto hace que la seguridad y el medio ambiente sean tenidos en cuenta a la hora de tomar decisiones en materia de mantenimiento.

- Manteniendo mucha atención en las tareas del Mantenimiento que más incidencia tienen en el funcionamiento y desempeño de las

instalaciones, garantizando que la inversión en mantenimiento se utiliza donde más beneficio va a reportar.

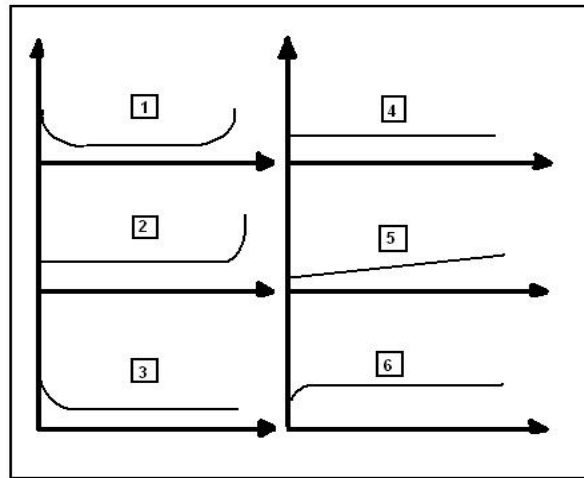


Figura 5.18 Diferentes modelos de probabilidad de avería en función del tiempo.

El modelo 1 es la conocida “curva de bañera”. Comienza con una probabilidad de fallo alta (conocida como mortalidad infantil) seguida por una frecuencia de fallo que aumenta gradualmente o es constante, y luego por una zona de desgaste.

El modelo 2 muestra una probabilidad de fallo constante o ligeramente ascendente, y termina en una zona de desgaste (la misma que la del modelo 1).

El modelo 3 comienza con una mortalidad infantil muy alta, que desciende finalmente a una probabilidad de fallo que aumenta muy despacio o que es constante.

El modelo 4 muestra una probabilidad de fallo constante en todas las edades (fallo aleatorio).

El modelo 5 muestra una probabilidad de fallo ligeramente ascendente, pero no hay una edad de desgaste definida que sea identificable.

Finalmente, el modelo 6 muestra una probabilidad de fallo baja cuando la pieza es nueva o se acaba de comprar, luego un aumento rápido hasta llegar a un nivel constante.

- **OBJETIVOS DEL RCM:**

El objetivo principal de RCM es reducir el coste de mantenimiento, para enfocarse en las funciones más importantes de los sistemas, y evitando o quitando acciones de mantenimiento que no son estrictamente necesarias.

- **VENTAJAS DEL RCM:**

- Si RCM se aplicara a un sistema de mantenimiento preventivo ya existente en las empresas, puede reducir la cantidad de mantenimiento rutinario habitualmente hasta un 40% a 70%.

- Si RCM se aplicara para desarrollar un nuevo sistema de Mantenimiento Preventivo en la empresa, el resultado será que la carga de trabajo programada sea mucho menor que si el sistema se hubiera desarrollado por métodos convencionales.

- Su lenguaje técnico es común, sencillo y fácil de entender para todos los empleados vinculados al proceso RCM, permitiendo al personal involucrado en las tareas saber qué pueden y qué no pueden esperar de ésta aplicación y quien debe hacer qué, para conseguirlo.

- **IMPLANTACIÓN DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO RCM:**

- Selección del sistema y documentación.
- Definición de fronteras del sistema.
- Diagramas funcionales del sistema.
- Identificación de funciones y fallas funcionales.
- Construcción del análisis modal de fallos y efectos.
- Construcción del árbol lógico de decisiones.
- Identificación de las tareas de mantenimiento más apropiadas [8]

5.4.2.1. El RCM: Siete preguntas básicas:

El RCM se centra en la relación entre la organización y los elementos físicos que la componen. Antes de que se pueda explorar esta relación detalladamente, se necesita saber qué tipo de elementos físicos existentes en la empresa, y decidir cuáles son las que deben estar sujetas al procedimiento de revisión del RCM. En la mayoría de los casos,

esto significa que se debe realizar un registro de equipos completo si no existe ya uno.

Más adelante, RCM hace una serie de preguntas acerca de cada uno de los elementos seleccionados, como sigue:

¿Cuáles son las funciones?

¿De qué forma puede fallar?

¿Qué causa que falle?

¿Qué sucede cuando falla?

¿Qué se puede hacer para prevenir los fallos?

¿Qué sucede si no puede prevenirse el fallo? [6] Pág. 7

- **FUNCIONES Y SUS ESTÁNDARES DE FUNCIONAMIENTO:**

Cada elemento de los equipos debe de haberse adquirido para unos propósitos determinados.

En otras palabras, deberá tener una función o funciones específicas. La pérdida total o parcial de estas funciones afecta a la organización en cierta manera. La influencia total sobre la organización depende de:

- La función de los equipos en su contexto operacional.
- El comportamiento funcional de los equipos en ese contexto.

Como resultado de esto el procedo de RCM comienza definiendo las funciones y los estándares de comportamiento funcional asociados a cada elemento de los equipos en su contexto operacional.

Cuando se establece el funcionamiento deseado de cada elemento, el RCM pone un gran énfasis en la necesidad de cuantificar los estándares de funcionamiento siempre que sea posible. Estos estándares se extienden a la producción, calidad del producto, servicio al cliente, problemas del medio ambiente, costo operacional y seguridad.

- FALLOS FUNCIONALES:

Una vez que las funciones y los estándares de funcionamiento de cada equipo se hayan definido, el paso siguiente es identificar cómo puede fallar cada elemento en la realización de sus funciones.

Esto lleva al concepto de un fallo funcional, que se define como la incapacidad de un elemento o componente de un equipo para satisfacer un estándar de funcionamiento deseado.

- MODOS DE FALLO:

El paso siguiente es tratar de identificar los modos de fallo que tienen más posibilidad de causar la pérdida de una función. Esto permite comprender exactamente qué es lo que puede pasar que se está tratando de prevenir.

Cuando se está realizando este paso, es importante identificar cuál es la causa origen de cada fallo. Esto asegura que no se malgaste el tiempo y el esfuerzo tratando los síntomas en lugar de las causas. Al mismo tiempo, cada modo de falla debe ser considerado en el nivel más apropiado, para asegurar que no se malgasta demasiado tiempo en el análisis de falla en sí mismo.

- EFECTOS DE LOS FALLOS:

Cuando se identifica cada modo de fallo, los efectos de los fallos también deben registrarse. Este paso permite decidir la importancia de cada fallo, y por lo tanto qué nivel de mantenimiento sería necesario.

El proceso de contestar sólo a las cuatro primeras preguntas produce oportunidades sorprendentes y a menudo muy importantes que mejoran el funcionamiento y la seguridad, y también eliminan errores. También mejora enormemente los niveles generales de comprensión acerca del funcionamiento de los equipos.

- CONSECUENCIAS DE LOS FALLOS:

Una vez que se hayan determinado las funciones, los fallos funcionales, los modos de fallo y los efectos de los mismos en cada elemento significativo, el próximo paso en el proceso del RCM es preguntar cómo y (cuánto) importa cada falla. La razón de esto es porque las consecuencias de cada falla dicen si se necesita tratar de prevenirlos. Si la respuesta es positiva, también sugieren con qué esfuerzo debemos tratar de encontrar los fallos.

- Consecuencias de los fallos no evidentes: Los fallos que no son evidente no tienen impacto directo, pero exponen a la organización a otros fallos con consecuencias serias, a menudo catastróficas. Un punto fuerte del RCM es la forma en que trata los fallos que no son evidente, primero reconociéndolos como tales, en segundo lugar otorgándoles una prioridad muy alta y finalmente adoptando un accesos simple, práctico y coherente con relación a su mantenimiento.

- Consecuencias en la seguridad y el medio ambiente: Un fallo tiene consecuencias sobre la seguridad si puede afectar físicamente a alguien. Tiene consecuencias sobre el medio ambiente si infringe las normas gubernamentales relacionadas con el medio ambiente. RCM considera las repercusiones que cada fallo tiene sobre la seguridad y el medio ambiente, y lo hace antes de considerar la cuestión del funcionamiento. Pone a las personas por encima de la problemática de producción.

- Consecuencias operacionales: Un fallo tiene consecuencias operaciones si afecta la producción. Estas consecuencias cuestan dinero, y lo que cuesten sugiere cuanto se necesita gastar en tratar de prevenirlas.

- Consecuencias que no son operacionales: Las fallas evidentes que caen dentro de esta categoría no afectan ni a la seguridad ni a la producción, por lo que el único gasto directo es el de la reparación.

Si un fallo tiene consecuencias significativas en los términos de cualquiera de estas categorías, es importante tratar de prevenirlas. Por otro lado, si las consecuencias no son significativas, entonces no merece la pena hacer cualquier tipo de mantenimiento sistemático que no sea el de las rutinas básicas de lubricación y servicio.

Por eso en este punto del proceso del RCM, es necesario preguntar si cada fallo tiene consecuencias significativas. Si no es así, la decisión normal a falta de ellas es un mantenimiento que no sea sistemático. Si por el contrario fuera así, el paso siguiente sería preguntar qué tareas sistemáticas se deben realizar. Sin embargo, el proceso de selección de la tarea no puede ser revisado significativamente sin considerar primero el modo de fallo y su efecto sobre la selección de los diferentes métodos de prevención.

5.4.2.2. El personal implicado en el RCM:

El personal del RCM incorpora las siete preguntas básicas. En la práctica el personal de mantenimiento no puede contestar a todas

estas preguntas por si mismos, esto es porque muchas de las respuestas sólo pueden proporcionarlas el personal operativo o el de producción.

Esto se aplica especialmente a las preguntas que conciernen al funcionamiento deseado, los efectos de los fallos y las consecuencias de los mismos.

Por esta razón, una revisión de los requerimientos del mantenimiento de cualquier equipo debería de hacerse por equipos de trabajo reducidos que incluyan por lo menos una persona de la función de mantenimiento y otra de la función de producción. La antigüedad de los miembros del grupo es menos importante que el hecho de que deben tener un amplio conocimiento de los equipos qu se están estudiando. Cada miembro del grupo deberá también haber sido entrenado en RCM.

El uso de estos grupos (figura 5.19) no sólo permite que los directivos obtengan acceso de forma sistemática al conocimiento y experiencia de cada miembro del grupo, sino que además reparte de forma extraordinaria los problemas del mantenimiento y sus soluciones.

[6] Pág.17



Figura 5.19 Típico grupo RCM.

5.5. ¿Qué es el GMAO?

El desarrollo de los ordenadores, cada vez con más capacidades, ha propiciado la aparición de útiles informáticos que constituyen la familia de los XAO, tales como CAO, DAO, FAO, TGAO, EAO (concepción, diseño, fabricación, tecnología de grupo y enseñanza asistida por ordenador) y, por último, MAO, o mantenimiento asistido por ordenador.

De hecho, el ordenador se utiliza desde hace mucho tiempo para ciertas funciones de mantenimiento, sobre todo, en el marco de la gestión de la producción y, en concreto, para la gestión de las existencias y los costes.

Con el MAO se consiguen herramientas específicas para la gestión del mantenimiento mediante la aplicación de otras numerosas funciones, tales como al gestión del parque de equipos, el seguimiento de sus piezas, el seguimiento de las operaciones de mantenimiento, el registro de las intervenciones, las guías de diagnóstico, los puntos clave que se deben respetar, etc. [2] Pág. 52

Pero la informática solamente logra prestar un servicio cuando ha sido previa y convenientemente programada. Si las tareas de mantenimiento no están bien organizadas, el establecimiento de una aplicación informática agravaría aún más la situación, porque a los efectos específicos de la organización se sumarían los inherentes a la informática.

El mantenimiento conlleva, simultáneamente, problemas técnicos, económicos y administrativos. La solución a toda esta diversidad de dificultades obliga a elegir entre distintos instrumentos de apoyo, especialmente dentro del campo de la informática, en el que es posible graduar las inversiones conforme a un ritmo al alcance de las pequeñas y medianas empresas. Actualmente, la diversidad de los programas informáticos ("*software*") comercializados es tal, que permiten enfrentar sin dificultad los problemas de mantenimiento de sectores industriales tan complejos. [2] Fig. 1.6. Pág. 293

5.5.1. Etapas para su aplicación:

El cuadro presenta las etapas para la introducción de la gestión de tareas de mantenimiento, incluida la estandarización de procedimientos que ello exige:

	ETAPAS DE IMPLANTACIÓN DE LA GMAO
Etapas 1	Decisión de implantar un sistema de GMAO y preparar plan desde mantenimiento
Etapas 2	Decisión y creación del equipo de implantación
Etapas 3	Seleccionar un programa que se ajuste a nuestras necesidades
Etapas 4	Seleccionar un escenario de implantación
Etapas 5	Identificación y necesidades e interacciones con otros departamentos
Etapas 6	Formación y divulgación
Etapas 7	Implantación al resto de células productivas
Etapas 8	Estandarización del sistema y explotación de resultados
Etapas 9	Consolidación del sistema. Búsqueda de nuevos objetivos

ETAPA 1: Decisión de introducir la GMAO y su planificación desde el departamento de mantenimiento que comprende las siguientes actividades:

- Definir los objetivos con sus plazos y las directrices de la informatización de la gestión del mantenimiento.
- Analizar la capacidad de la estructura y los recursos de la corporación, para asumir los objetivos fijados.
- Evaluar los beneficios de la implantación de la GMAO.
- Prever las necesidades que deben quedar cubiertas en base a la experiencia del departamento de mantenimiento.

ETAPA 2: Crear el equipo de trabajo para la implantación del sistema:

El equipo en cuestión puede estar integrado por personal propio del departamento de mantenimiento, aunque también puede estar integrado por personal externo asesorado por dicho departamento. Otra alternativa es utilizar un equipo mixto, y finalmente cabría la posibilidad de utilizar un equipo externo a la compañía.

ETAPA 3: Seleccionar o diseñar un programa que se ajuste a nuestras necesidades:

En esta etapa deberán ser analizados los estándares existentes en el mercado y las modificaciones a llevar a cabo, consultar los distintos programas, comparar y decidir cuál de ellos se ajusta más a las necesidades de nuestra empresa.

En esta tarea será conveniente involucrar los departamentos, directamente implicados, de producción, mantenimiento y calidad, y aquellos que puedan estarlo en función de las prestaciones que esperamos obtener de nuestro programa de gestión.

ETAPA 4: Selección de un área de producción piloto:

El objetivo de esta etapa será hacer una implantación piloto, acotada a una determinada selección de equipos, que puede ser una única máquina, un tipo de máquina o una línea de producción; para hacer esta selección, deberá tenerse en cuenta todo aquello que facilite la implantación de la gestión informatizada, tal como los medios informáticos existentes, el canal actual de comunicación de partes de avería entre producción y mantenimiento, y todos aquellos elementos que creamos van a intervenir en el diseño operativo de nuestro sistema.

ETAPA 5: Identificación de las necesidades e interacciones:

En esta etapa se determinarán los requerimientos del sistema informatizado para el módulo piloto, así como las conexiones que se considera que el sistema deberá tener con otros departamentos.

Puede ser conveniente aprovechar la situación de cambio que se creará para introducir otras mejoras que pueden estar relacionadas con el mismo problema, tales como:

- Solicitud informatizada de los partes de avería por los propios supervisores de producción.

- Gestión de partes y codificación de averías por los propios operarios de mantenimiento.
- Solicitud de prestaciones de servicios externos.
- Creación y unificación de un sistema de codificación de averías.
- Creación y unificación de la codificación de los recambios.
- Gestión y actualización automática de la lista de los recambios utilizados por cada máquina.
- Relación de recambios utilizados, equivalentes y compatibles, y proveedores que los comercializan.
- Realización de un histórico de los recambios utilizados por tipo de avería.
- Aprovisionamiento de recambios realizado por los propios módulos productivos asociados directamente al parte de avería.
- Aprovisionamiento programado de recambios de reserva para mantenimientos planificados.
- Desarrollar, por medios informáticos, la gestión de los recambios del almacén, de acuerdo con sus frecuencias de aprovisionamiento, pero ajustando los stocks de acuerdo con una gestión adecuada.

ETAPA 6: Formación y divulgación:

Una vez llevada a cabo la implantación del escenario, ya se podrán identificar las necesidades de cada usuario, pudiendo así diseñar un sistema de accesos según sea el perfil del usuario, es decir, definir las partes del programa a las que cada usuario necesita tener acceso y que tipo de acceso va a ser: modificable, de consulta, explotación de datos, etc.

Será el momento de preparar un plan de formación por tipos de usuario y elaborar unos manuales que se ajusten a la información que cada grupo necesita tener a su alcance.

No siempre será posible, por los requerimientos de producción y los recursos disponibles, dotar de un cierto nivel similar al personal, de ahí precisamente la importancia de facilitar al máximo la tarea de aprendizaje, con manuales ajustados a sus necesidades, información elemental al inicio. Una vez consolidada esta etapa de formación, es

conveniente dar una asistencia continuada al usuario, y asistirlo en los momentos en los que éste, una vez formado, empieza a trabajar y por tanto, puedan surgirle dudas que no aparecieron en el periodo de formación.

Finalmente, y cuando el personal a cargo del sistema comience a conocer u tomar confianza en el mismo, convendrá tomar buena nota de las sugerencias de los propios usuarios, y obtener así un sistema de introducción de mejoras continuas con el resultado final de tener un sistema actualizado y ajustado a las necesidades reales del mismo.

ETAPA 7: Introducción del sistema GMAO al resto de módulos de producción:

Con esta etapa ha llegado el momento de extender el sistema de GMAO a toda la planta.

Los aspectos que pueden ser comunes podrán dar lugar a estandarizaciones de los procedimientos de trabajo de los módulos productivos, tales como codificaciones de averías, documentación de trabajo y planificación de actividades en general.

Asimismo, las agrupaciones de máquinas y equipos de producción pueden ser de gran utilidad para facilitar la tarea de implantar la gestión informatizada de una forma generalizada.

ETAPA 8: Estandarización del sistema y explotación de resultados:

Una vez consolidadas las etapas anteriores y habiendo obtenido un nivel de implantación similar en todas las áreas productivas, será conveniente evaluar el nivel de eficacia en la implantación conseguido. Ello supone valorar hasta que punto se han logrado los objetivos de eficacia para las tareas realizadas exclusivamente por jefes de mantenimiento previamente a una reparación, tales como codificar averías, grabar partes y consultar históricos de máquina, o para las llevadas acabo por el operario de mantenimiento, relacionadas con las horas de trabajo y los recambios utilizados. Aparte de la eficacia, se habrá logrado evitar la duplicidad de tareas realizadas, y además, conseguido su realización en tiempo real.

Con el nuevo método de trabajo, no sólo se garantiza que no se va a perder información, sino que es directamente el departamento de producción quien realiza la solicitud del parte de avería, rellena una serie de campos y el departamento de mantenimiento retoma esa solicitud de manera que no haga falta duplicar los datos, e introduce aquello que le corresponde.

ETAPA 9: Consolidación del sistema:

Como ha sido ya expuesto, es muy importante decidir adecuadamente que datos se deberán gestionar o conectar a este sistema y prever que la información que facilita el mismo pueda ser consultada de forma sencilla y desde distintos departamentos.

En la etapa de planificación, es importante profundizar todo lo que sea necesario antes de decidir qué elementos se deberán conectar y en qué momento hacerlo. Habrá algunas cosas que deberán estar preparadas antes de la introducción del sistema y otras se podrán utilizar cuando el sistema funcione como era esperado. [4] Pág.

258

5.5.2. Ventajas de GMAO:

Dependerá de la naturaleza de la empresa en cuestión, así como de los medios propios o subcontratados en los que se apoye el sistema.

Al igual que no puede considerarse que las actividades de mantenimiento sean llevadas a cabo por el mero hecho de que el mantenimiento en sí sea efectivamente realizado, tampoco la informática puede ser considerada como un instrumento para trabajar con la informática. El único y verdadero objetivo no puede ser otro que la mejora del mantenimiento, sea mediante una disminución de los costes, por un incremento de la disponibilidad de las máquinas o bien mediante una combinación equilibrada de ambos aspectos.

En todo caso, deben respetarse siempre los siguientes tres principios:

- No introducir la informática en el mantenimiento si no se cuenta con el firme apoyo de la dirección y, por consiguiente, del jefe de la unidad.

- El plan de mejora de mantenimiento debe ser prioritario, y la informática sólo representa uno más de sus aspectos.

- En la puesta en marcha de un sistema informático debe considerarse tanto la ocasión, como el motor que impulse un plan de mejora global.

En principio se podría contar con las siguientes ventajas:

- Mejor conocimiento del consumo.
- Mejor conocimiento de las posibilidades de intercambio entre las piezas, y una mejor nomenclatura.
- Mejor análisis de las operaciones de mantenimiento.
- Mejor conocimiento de los tiempos reales utilizados en las operaciones de mantenimiento.
- Análisis de las averías y de los incidentes producidos
- Mejor conocimiento de los costes de mantenimiento.

Lo más frecuente es que la prioridad sea concedida a la disminución de los costes de producción, lo que supone, al examinar el balance final:

- Disminución del número de averías.
- Mejor selección de las fechas para las paradas programadas.
- Disminución de las paradas planificadas para completar el mantenimiento programado.
- Disminución de los tiempos de parada por revisiones.

La detección de los fallos repetidos dependerá de la calidad del seguimiento técnico. La simple consulta de un fichero informático o de un historial permite evaluar este carácter repetitivo.

Puesto que la fiabilidad absoluta no existe, resulta prioritario controlar todo lo que se refiere a averías, por lo que cabría preguntarse si, en muchas situaciones, el objetivo esencial no es diagnosticar un fallo en el mínimo tiempo, y localizarlo con exactitud.

En tales casos, el mantenimiento asistido por ordenador reúne todas las características de un sistema experto. [2] Pág. 295

Podemos comprobar que la cantidad de datos manipulados por el mantenimiento es creciente, y que esta base de datos se está haciendo cada vez más voluminosa; el tratamiento de estas informaciones, en unas instalaciones cada vez más automatizadas, necesita funcionar en tiempo real. Las redes múltiples de tratamiento y de interrogación implican que las informaciones de decisión estén a disposición del conjunto de los técnicos interesados.

Para la elección de las acciones son necesarios los historiales, y los gráficos muestran el estado de evolución de los fenómenos.

Las macrofunciones de un sistema GMAO pueden ser las siguientes:

- Determinar la política de mantenimiento.
- Determinar y seguir los presupuestos.
- Seguir y controlar los abastecimientos.
- Planificar y seguir los trabajos.
- Preparar las intervenciones.

Se puedes añadir además:

- La gestión de la disponibilidad de los equipos y el conocimiento de índices reales de rendimientos sintéticos, de los MTTR, de los MTBF.

- El conocimiento del nivel de entretenimiento de las instalaciones de los edificios, de los servicios y de los servicios de conservación al menor coste.

- El conocimiento preciso del coste global del mantenimiento de los equipos.

- La optimización de los costes de almacenamiento de las piezas de recambio.

- La asistencia en la búsqueda de documentación técnica. [7] Pág.

125

5.6. Factor Humano en mantenimiento

5.6.1. Importancia de las personas en la empresa:

Siguiendo la norma americana de gestión de las 4M, los puntos esenciales de los que depende la “salud” de una empresa en Estados Unidos, por orden de importancia decreciente, serían:

- | | | |
|----------------------------------|---|-------------------|
| 1. Men: los hombres. | } | Factores internos |
| 2. Means: los medios materiales. | | |
| 3. Money: el capital. | | |
| 4. Market: el mercado. | } | Factor externo |

Conforme a esta regla, las personas son quienes constituyen el factor interno más importante de la empresa.

No se trata ya del trabajo físico, que desde hace bastante tiempo realizan las máquinas de forma cada vez más rápida y a un coste menor, sino de esa capacidad de creación, de innovación y de organización propia del hombre que los equipos modernos, y en particular la informática, potencia en gran medida.

El interés general aconseja aprovechar las capacidades potenciales de las personas de la mejor manera posible en el marco de la empresa. Más aún: la actual situación de competencia, hace que al supervivencia de las empresas corra e riesgo de depender sólo de ellas.

El comportamiento de las personas en su trabajo, y la motivación como uno de los motores del rendimiento laboral, han sido objeto de numerosas investigaciones.

Algunas teorías relativas a la motivación:

- Teoría de las necesidades de Maslow (Estados Unidos, 1954).
- Teoría de los factores de Herzberg.
- Teoría de los impulsos de Thrndyke y Woodnor.
- Teoría de la equidad de Adams (1963).
- Teoría X e Y de Mac Gregor. [2] Pág. 90

La evolución industrial implica modificaciones en la organización empresarial y en la transferencia de responsabilidades. Por tanto, la actuación del responsable de mantenimiento debe consistir en encontrar, en colaboración con su dirección industrial, la mejor

organización para contribuir a la eficacia industrial. Debe buscar siempre la disponibilidad operativa de los medios de producción al menor coste.

Se admite generalmente que los responsables de mantenimiento deben tener competencias profesionales técnicas polivalentes y prácticas. La época del ahorro de energía ha obligado a más de uno a volver a sumergirse en los cálculos térmicos y energéticos.

Estos conocimientos no suelen ser suficientes. La gestión y la organización, así como el conocimiento de idiomas, se han vuelto indispensables para dominar esta función.

En el conjunto de características humanas del jefe de mantenimiento deben entrar el espíritu de análisis y el sentido de la interrogación y de la consideración de un gran número de factores que faciliten la toma de decisiones.

El crecimiento del parque de maquinaria-herramientas de control numérico, de talleres flexibles, de robots y de procesos que implican sofisticadas atenciones requiere un perfil de hombre con un potencial de adquisición de conocimientos, previamente formados y disponibles, la experiencia más diversificada posible en este campo es una garantía innegable de éxito. [7] Pág. 41

5.6.2. Las cualificaciones:

La organización de la empresa ante la evolución tecnológica impone una política global sobre el perfil y la cualificación de quienes deben dominar el funcionamiento de las instalaciones industriales.

Las cualificaciones del escalafón tradicional del mantenimiento deben completarse en todos los niveles en función de la distribución de acciones entre los operadores de fabricación y los profesionales del mantenimiento.

Cada incidente específico en la producción implica la intervención de un hombre de mantenimiento, cuya cualificación debe ser la adecuada para solucionar el problema de la forma más eficaz posible, de hecho, la dificultad consiste en definir el perfil más adecuado. En efecto, un incidente en una máquina automática puede provenir del desgaste mecánico, de un contacto o de un detector de posición, de la conexión entre ambos o de un ajuste mecánico. Este incidente puede incumbir tanto a un mecánico como a un electrotécnico o un informático, según sea su origen real.

Realmente, es casi imposible disponer de una intervención especializada en cada cualificación para responder al conjunto de problemas que se plantean. Por tanto, existe un compromiso cualificación-formación que hay que encontrar.

Para el hombre de mantenimiento próximo al equipo tendrá más valor y será más necesario un conocimiento general interdisciplinario que una formación profundamente especializada, sólo una amplia base teórica podrá proporcionar los medios necesarios para poder comprender los problemas bajo todas sus formas y determinar sus complejas relaciones.

5.6.2. La formación:

El mantenimiento es un servicio realizado por hombres que disponer de métodos e instrumentos, tienen una serie de tareas que cumplir que, en la gran mayoría de los casos, consiste en resolver problemas.

Para poder resolverlos en las mejores condiciones es preciso reunir las siguientes condiciones:

- Una buena comprensión de los problemas, que pasa por su reformulación, si es necesario;
- Una adecuación entre la complejidad del problema y las capacidades del encargo de resolverlo;
- Un buen conocimiento de las tecnologías y capacidad de concentración y razonamiento.

La cualificación de los hombres de mantenimiento, su potencialidad para adquirir conocimientos y su formación son tres criterios fundamentales para la eficacia global. [7] Pág. 43

5.7. El mantenimiento ¿coste o beneficio?

El mantenimiento sigue siendo en la mayoría de las empresas un centro de coste y no un centro de beneficio. [3] Pág. 41

La función de mantenimiento ha experimentado, en una tendencia constante, una creciente importancia ante el desarrollo de instalaciones cada vez más complejas, sean automatizadas o robotizadas.

En las industrias con un elevado índice de automatización, el personal de mantenimiento representa con frecuencia un índice cercano al 40% del total de la plantilla.

Sin embargo el coste directo de la puesta en marcha del mantenimiento sólo constituye una más de los factores económicos a tener en cuenta por las empresas, mientras los costes indirectos, es decir, los derivados de la falta de disponibilidad o del deterioro de las funciones de los equipos, sí representan un factor económico de primer orden.

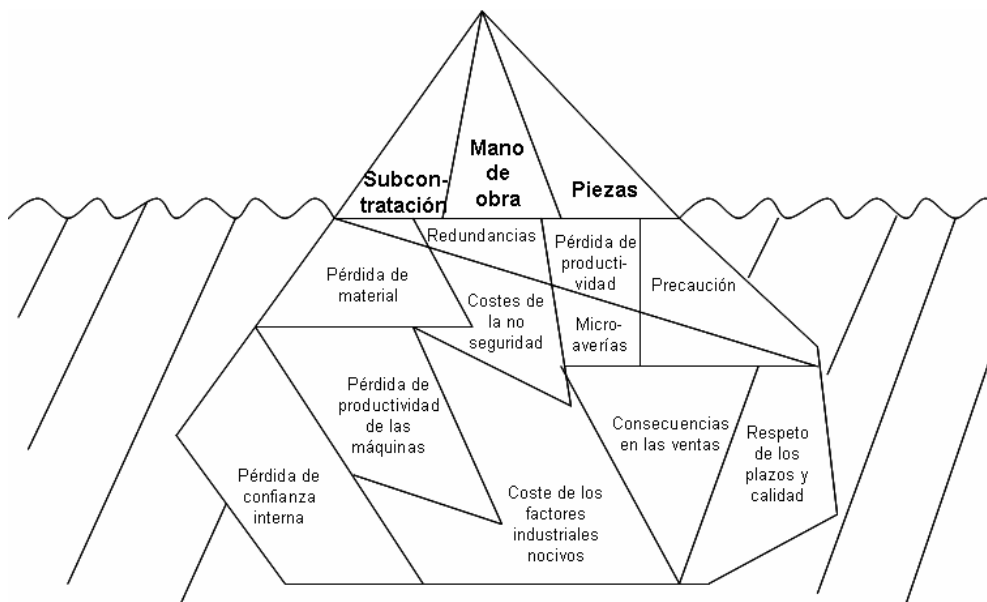


Figura 5.20 Iceberg de los costes.

Aún cuando se respeten todas las proporciones, estos *costes indirectos* constituyen a menudo la *parte sumergida del iceberg* (figura 5.20), puesto que no suelen ser objeto de una partida contable tal como la que se aplica a los costes directos.

A modo de ejemplo, pueden estar constituidos por:

- Las repercusiones económicas por la pérdida de producción por paro, falta de disponibilidad o deterioro de la función, y de los *costes de la falta de calidad* que pudieran derivarse.

- Las eventuales penalizaciones por retrasos en la entrega.

- Los costes de las medidas tomadas en su momento para paliar los fallos de los equipos productivos: horas suplementarias, peticiones de ayuda al exterior, etc.

- En algunas ocasiones, los fallos de los equipos pueden entrañar la destrucción completa de la instalación o del propio equipo.

Así mismo, los fallos en los equipos podrían poner en riesgo la seguridad de las personas e, incluso, provocar numerosas víctimas. [2] Pág. 37

5.7.1. Optimización del coste global de los equipos:

Para un equipo de producción, los componentes de este coste global serían:

- a) El coste de adquisición A del equipo, incluyendo en su momento el coste real del capital invertido.
- b) Los gastos reales de utilización, incluyendo:
 - Los costes acumulados F de funcionamiento, que incorporan el coste de las operaciones, los costes de las materias primas u los suministros utilizados,
 - Los costes acumulados M relativos al mantenimiento.
- c) El valor r resultante de la reventa o de desechar estos equipos después de la reforma. Éste podría ser positivo o negativo.

Como expresión matemática, el coste global resultante se manifiesta mediante la fórmula siguiente:

$$C = A + F + M + r \quad (1)$$

Cuando la utilización de este equipo reporte ingresos de valor acumulado V , el resultado global de explotación será:

$$R = V - C = V - (A + F + M + r) \quad (2)$$

Todos estos valores deben representarse en dinero constante, a fin de que sus importes acumulados queden bien definidos.

La fórmula (2) es la que tiene un carácter más global.

En la hipótesis simplificada de un régimen permanente, que supone una producción constante en el tiempo, y siempre que los precios permanezcan invariables, los ingresos acumulados V quedaran definidos por una recta (V).

Abandonando de forma provisional el valor r de reventa o de desecho, los elementos del resultado R se representan tal como aparece en la figura 5.21.

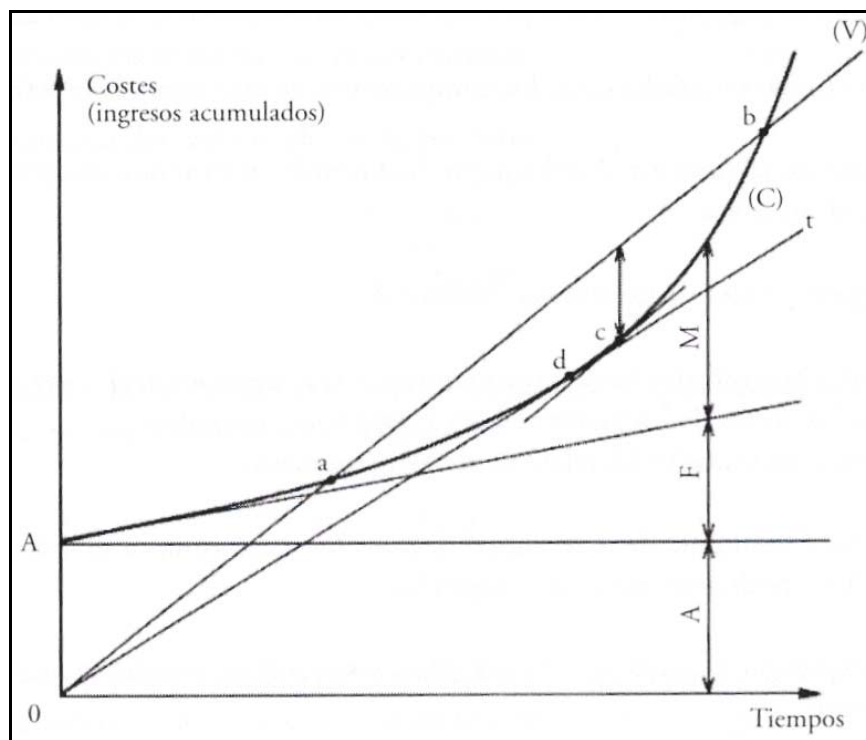


Figura 5.21 Representación del coste global en régimen permanente.

La evolución de los costes acumulados $C = (A + F + M)$ queda representado por la curva (C) que, normalmente, corta la recta (V) de los ingresos acumulados en dos puntos: a y b .

El resultado global R se representa por la distancia vertical entre la recta (V) y la curva (C) en el periodo en cuestión.

Este resultado global sólo resulta positivo entre los puntos a y b .

Asimismo, pasa por un valor máximo en el punto de contacto c de una tangente con la curva (C) paralela a la recta (V). Sin embargo, es en el punto de contacto d de la tangente 0-t cuando el resultado global r_1 por unidad de tiempo es el máximo según:

$$r_1 = \frac{R}{T}$$

En el que T designa el periodo total de utilización.

Lo mismo ocurre para el resultado global r_2 por unidad producida:

$$r_2 = \frac{R}{Q}$$

En el que Q designa al número total de unidades producidas por el equipo durante su utilización.

La curva más ventajosa del coste global coincide con la producción más elevada, y con la contención máxima de los costes de utilización y de mantenimiento correspondientes.

En las figuras 5.22. y 5.23. se señalan las posibles repercusiones de la tasa de utilización de los equipos con:

- a) Un resultado positivo en la figura 5.22., derivado de una importante tasa de utilización de los equipos.
- b) Un resultado negativo en el caso de la figura 5.23., en la que la tasa de utilización más reducida no permite que los ingresos acumulados V_2 compitan con el nivel de los costes acumulados C_2 .

La política de mantenimiento se integra, por tanto, en la gestión global de los equipos para optimizar sus resultados.

Para un objetivo dado de producción o de tasa de utilización, la mejor política de mantenimiento es la que sigue la curva de costes más ventajosa; es decir, la más baja posible, tal como se representa en la figura 5.24., y tratando, por ejemplo, de pasar de la curva de coste global (C_1) a la curva (C_2) que ofrece un mejor resultado para el período T en cuestión.

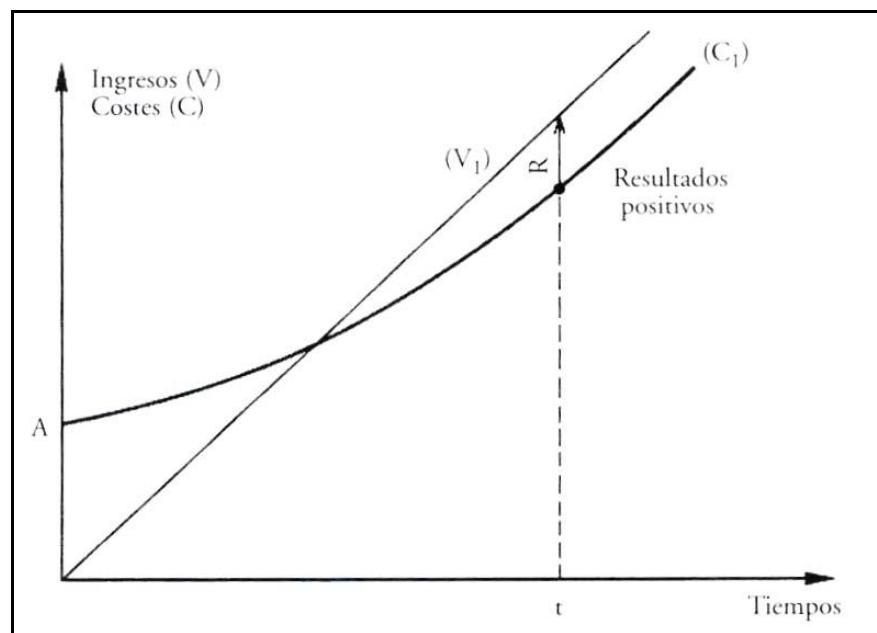


Figura 5.22 Incidencia de la tasa de utilización en el coste global: utilización elevada.

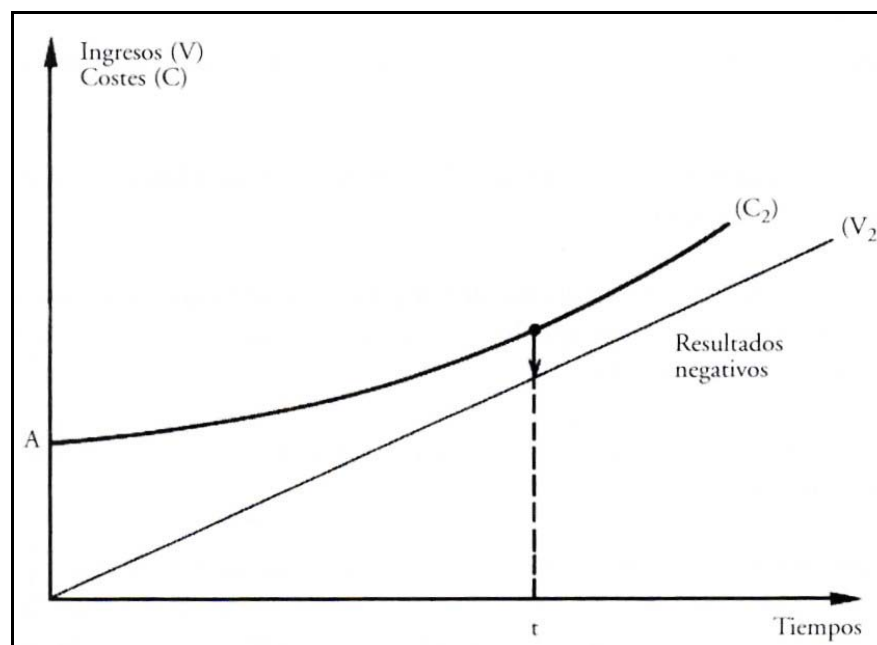


Figura 5.23 Incidencia de la tasa de utilización en el coste global: utilización baja.

En el caso de un entorno muy competitivo, como puede ser, por ejemplo, el de una empresa que desarrolla su actividad en un sector con una alta tasa de mecanización, una buena gestión del mantenimiento podría venir determinada incluso por la curva de coste global (C_2), capaz por sí sola de marcar la diferencia entre la rentabilidad, la supervivencia, la generación de pérdidas e, incluso, determinar el cierre de la empresa a largo plazo.

Por otra parte, conviene subrayar la importancia que tiene la gestión global, destinada a optimizar los costes del mantenimiento durante el periodo completo de duración del equipo.

Efectivamente, la experiencia demuestra que, por ejemplo, la supresión momentánea de las operaciones de mantenimiento preventivo, con la intención de reducir los costes inmediatos, puede desembocar en muchos casos en un deterioro progresivo de los equipos mecánicos, lo que, en un último término, originará sin duda unos costes por fallos en la maquinaria muy superiores a los ahorros conseguidos inicialmente. [2] Pág. 205

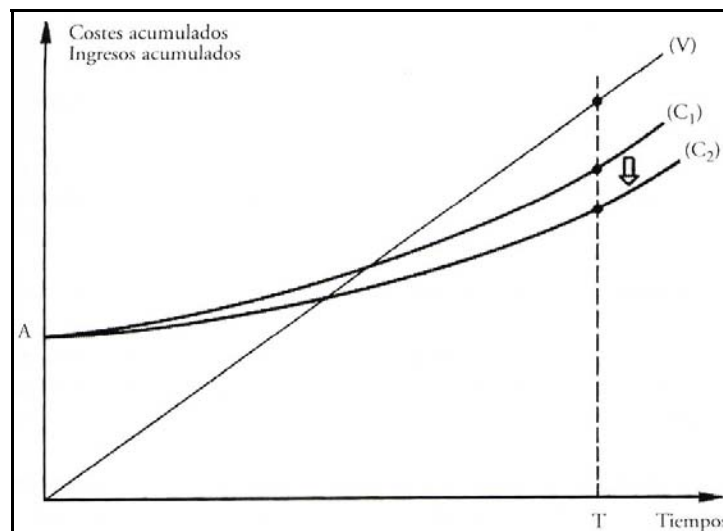


Figura 5.24 Optimización del coste global en función de la tasa de utilización.

5.7.2. Objetivos financieros del mantenimiento:

El mantenimiento tiene como finalidad la conservación de los equipos en un estado específico o en condiciones de proporcionar un servicio determinado. También constituye un medio de cumplir con los

objetivos generales de la empresa, en los que la rentabilidad supone un componente primordial.

Cuando haya sido definido un conjunto de objetivos técnicos para el mantenimiento, el objetivo financiero consistirá en satisfacerlos al mínimo coste. Este objetivo del mínimo coste es, evidentemente, a largo plazo. El coste global de adquisición y de utilización definido antes constituye entonces el indicador más adecuado.

Cuando los costes de la falta de disponibilidad puedan estimarse totalmente, y en la medida en que las imposiciones y las normas de seguridad queden satisfechas, el importe mínimo será el conjunto de los costes directos de mantenimiento y de los costes de la falta de disponibilidad.

Como en el caso anterior, el logro de esta situación óptima debe ser contemplado a largo plazo. El coste global de adquisición y de utilización constituye igualmente un indicador pertinente, incluyendo aquí los costes de la falta de disponibilidad. A corto plazo, el presupuesto del servicio de mantenimiento también constituye una herramienta de gestión muy útil y, de hecho, necesaria en el marco de la elaboración del presupuesto de la empresa.

Todavía se puede plantear una cuestión más en relación con la pertinencia de los objetivos establecidos de forma absoluta. ¿Conviene establecer un objetivo global del 90%, 99% ó 99,9%? ¿A qué coste? ¿Cuál sería la mejor alternativa?

Si la prioridad se centra en el presupuesto dedicado al mantenimiento, la calidad del servicio prestado ofrecerá resultados si se supone que, como mínimo, el presupuesto disponible se aprovecha de la mejor manera posible. Sin embargo, ¿se corresponde el presupuesto asignado con la situación óptima, y contribuye a que se cumplan los objetivos generales de la empresa?

Una tercera vía consiste en tratar de optimizar la siguiente relación:

Coste de mantenimiento + coste de la falta de disponibilidad
<hr/>
Cifra de negocios relativa a la producción

Si la conformidad con las reglas relativas a la seguridad es satisfactoria, la aplicación de esta relación permitirá adaptar la gestión

de mantenimiento de tal forma que se consiga maximizar la rentabilidad de la empresa, contribuyendo así a su competitividad.

Los costes de la falta de disponibilidad indicados en el numerador se remiten a los costes de la ineficacia unidos a la función mantenimiento; es decir, “los costes de la falta de mantenimiento”.

La aplicación de esta relación tiende también a minimizar el volumen total de esta especie de “iceberg”, compuesto por:

- Costes directos del mantenimiento, que representan la parte visible.
- Costes de la ineficacia ligados al mantenimiento, que constituyen la parte sumergida. [2] Pág. 207

5.8. El mantenimiento en la organización de la empresa:

Es muy común que dentro de la gestión de mantenimiento se incluyan, además de las actividades tendientes a asegurar la disponibilidad máxima planificada de los equipos al menor costo dentro de los requisitos de seguridad, la atención de los servicios al establecimiento. Como tales, se entienden los servicios requeridos para disponer de la energía eléctrica, calórica bajo sus distintas formas (vapor, agua caliente, tibia), agua (en la industria alimenticia potable), aire comprimido, refrigeración, vacío, etc. en las cantidades y calidades solicitadas por la actividad de la empresa y, también de la colecta, tratamiento y disposición de los residuos sólidos, líquidos y gaseosos que se generan en ella.

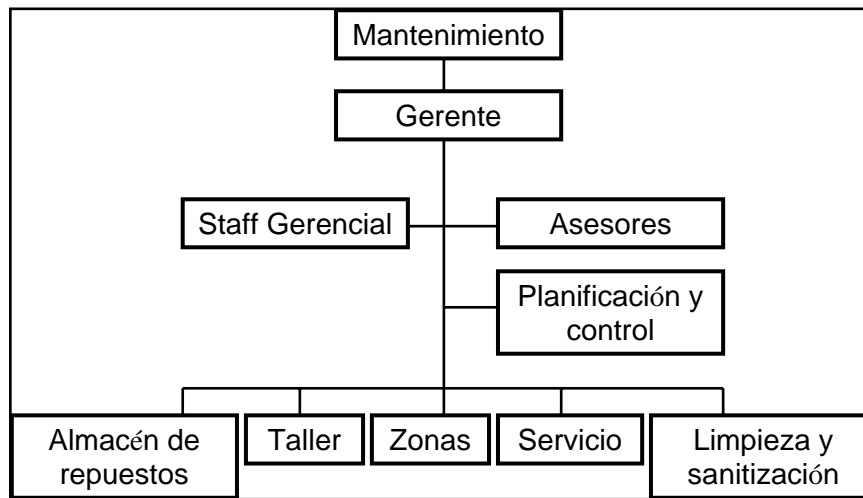
Incluso, en algunas plantas, mantenimiento también es responsable de las tareas de limpieza, higiene y sanitización del establecimiento. En consecuencia, la organización del mantenimiento deberá contemplar la totalidad de actividades bajo su responsabilidad buscando su desempeño eficiente, eficaz y al menor costo.

Paralelamente, debe tenerse presente que, dentro de este concepto amplio de la función de mantenimiento, coexisten elementos de gestión (Supervisión y Control) y operativos (atención de los servicios, ejecución de las intervenciones, etc.).

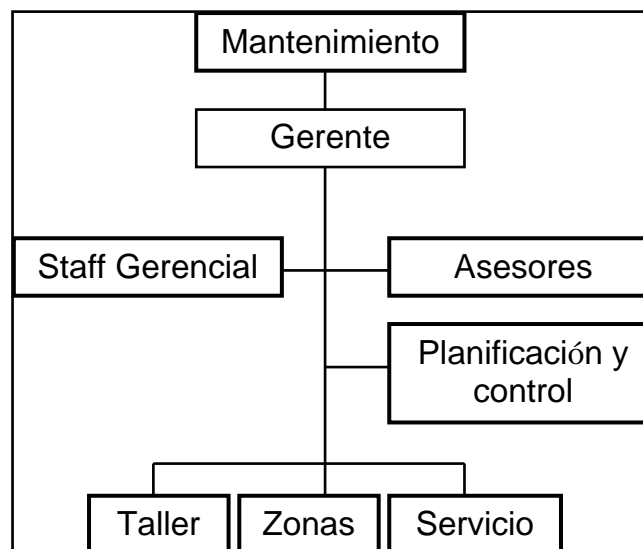
No existe a nivel de mantenimiento un organigrama "tipo" de aplicación general; cada empresa deberá crear el organigrama más conveniente y que mejor se adapte a sus características propias.

La Figura 5.25. ilustra sumariamente sobre el particular, incluyendo distintos ejemplos de organigramas aplicables atendiendo a las características particulares de las empresas. Es muy difícil lograr que en mantenimiento una sola persona pueda realizar satisfactoriamente todas las funciones propias del área, salvo que la empresa sea muy pequeña y/o que su responsable tenga condiciones excepcionales.

Ejemplo 1:



Ejemplo 2:



Ejemplo 3:

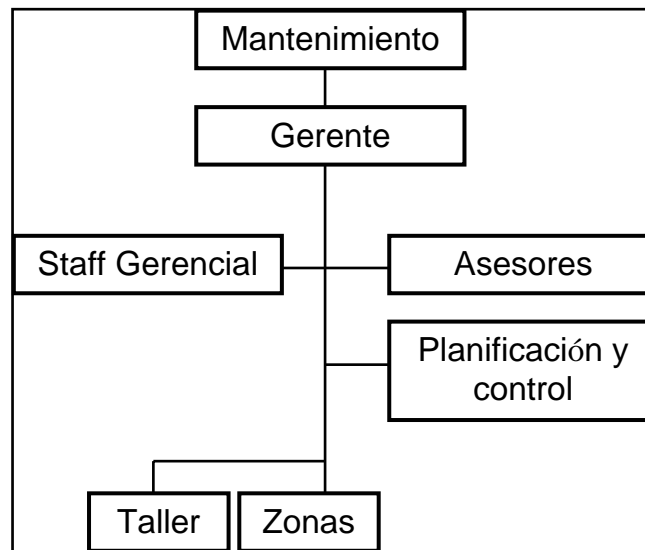


Figura 5.25. Organización del Departamento Mantenimiento de una empresa:
Organigramas simplificados.

Para diseñar una estructura organizativa en mantenimiento se debe:

- Determinar la responsabilidad, autoridad y el rol de cada persona involucrada en el Área de Mantenimiento;
- Establecer las relaciones verticales y horizontales entre todas las personas;
- Asegurar que el objetivo de mantenimiento ha sido interpretado y entendido por todos;
- Establecer sistemas efectivos de coordinación y comunicación entre las personas. ^[17]

6. 3ª Fase: IMPLANTACION DE LAS NUEVAS TÉCNICAS DE MANTENIMIENTO Y GESTIÓN EN EL PARQUE DE MAQUINARIA DE UN GRUPO DE CIMENTACIONES (17 empresas)

6.1. Búsqueda de un GMAO:

6.1.1. Especificaciones de un GMAO:

El Grupo de cimentaciones amplió el contrato con objeto de que le ayudásemos a implantar en sus instalaciones un sistema integrado de mantenimiento, de manera que el grupo gestionase todo lo relacionado con el mantenimiento de las máquinas de las diferentes empresas que están dentro del parque de maquinaria. Como acción inicial se realizó un primer documento (ANEXO 3) en el que se definían las bases de la oferta de un sistema de gestión integral de mantenimiento para la maquinaria que gestiona el parque de las distintas empresas del Grupo.

Hoy en día, hay muchos y buenos programas, catalogados bajo el término GMAO, que son útiles para la función de mantenimiento y se dividen en tres categorías:

- Los programas de gestión del mantenimiento, bastante parecidos a los de gestión administrativa; su función fundamental es llevar informáticamente la función de mantenimiento, sus gastos de manos de obra y de material, así como los stocks de piezas de recambio.

- Los programas de ayuda a la decisión y a la optimización de las funciones de preventivo permiten optimizar las acciones en función de las informaciones acumuladas y analizadas como los informes de intervenciones.

- Los programas de ayuda a la explotación de los equipos utilizan informaciones de disponibilidad, haciendo referencia a la fiabilidad, la disponibilidad y la ayuda al diagnóstico.

Se pueden encontrar programas que tratan todos o una parte de los parámetros anteriores.

6.1.2. Bases de la oferta del GMAO:

Podemos comprobar que la cantidad de datos manipulados por el mantenimiento es creciente (el parque de maquinaria era esclavo de la gran cantidad de información en papel que diariamente generaba), y que esta información se está haciendo cada vez más voluminosa; el tratamiento de estas informaciones, en unas instalaciones cada vez más automatizadas, necesita funcionar en tiempo real. Las redes múltiples de tratamiento y de interrogación implican que las informaciones de decisión estén a disposición del conjunto de los técnicos interesados.

En el parque de maquinaria era frecuente que:

- La información de costes fuera confusa, tardía y en muchas ocasiones poco fiable.
- La información de averías fuera dispersa y no se consolidase la información recibida de preventivo con la obtenida de correctivos.
- La información técnica de máquinas no era distribuida a todos los que necesitaban utilizarla.
- No se planificaban las tareas de los talleres, se movía permanentemente al personal de una máquina a otra.

Para la elección de las acciones son necesarios los historiales, y los gráficos muestran el estado de evolución de los fenómenos.

Las macrofunciones de un sistema GMAO pueden ser las siguientes:

- Determinar la política de mantenimiento.
- Determinar y seguir los presupuestos.
- Seguir y controlar los abastecimientos.
- Planificar y seguir los trabajos.
- Preparar las intervenciones.
- La gestión de la disponibilidad de los equipos y el conocimiento de índices reales de rendimientos sintéticos, de los MTTR, de los MTBF.

- El conocimiento del nivel de mantenimiento de las instalaciones de los edificios, de los servicios y de los servicios de conservación al menor coste.
- El conocimiento preciso del coste global del mantenimiento de los equipos.
- La optimización de los costes de almacenamiento de las piezas de recambio.
- La asistencia en la búsqueda de documentación técnica.

El objetivo debe ser el de obtener la máxima eficiencia de los equipos junto al máximo rendimiento de los operarios. En base a estos objetivos, y en la medida que se puede agilizar la gestión de la obtención de información de las averías, paradas funcionales, breves o inducidas, las frecuencias de todas ellas, así como el tipo de averías, las actividades de mantenimiento realizadas, los recambios utilizados y los que están en stock, etc., en la medida de que ello sea así, decimos, la eficacia en la actuación y el rendimiento de la gestión de mantenimiento mejorarán.

En el ANEXO 3 se encuentra el documento realizado a la empresa llamado "Bases de la oferta de un sistema de gestión integral de maquinaria (SGM)" en el que se explica que es lo que necesita su sistema de gestión, las partes que debe incluir y como tiene que ser, este documento además de mandarse al Grupo se le hizo llegar a las empresas seleccionadas como posibles implantadoras del software. Para el desarrollo de este documento se realizaron numerosas visitas al parque de maquinaria para conocer el funcionamiento de la empresa. Además de tener a nuestra disposición todos los documentos internos que se pueden ver en el ANEXO 4, como partes de control de averías, mecánicos de mantenimientos, informes de entrada y salida del material, etc. que han sido de gran ayuda para conocer el funcionamiento interno de la empresa y así mejorarlo y poder implantar un buen software que facilitase el trabajo.

6.1.3. Empresas seleccionadas:

Se hizo un sondeo entre cinco programas de gestión de mantenimiento:

- Tcman GIM ^[9]
- Infor ERP BaaN ^[10]
- Infor EAM ^[11]
- Maximo IT Service Management ^[12]
- Sisteplant Datalde ^[13]

Todos ellos sobre la base de cumplir una serie de requisitos indispensables para el parque de maquinaria.

Los programas finalistas fueron GIM y BaaN.

El primero (GIM), era el que técnicamente ofrecía mejores prestaciones pero tenía el inconveniente que debía integrarse con BaaN (era el software que hasta el momento estaba utilizando el Grupo). Ya que tanto los costes de averías, como el stock de repuestos, modificaciones de máquinas, etc., debían ser gestionados a su vez por el ERP BaaN y esa integración era costosa y no exenta de riesgos.

Por otro lado, BaaN tenía su mejor programa de mantenimiento, en una versión muy posterior a la que estaba usando el Grupo, lo que suponía o migrar todo el Grupo a la nueva versión o renunciar a disponer del mejor programa de mantenimiento en BaaN.

La decisión final fue BaaN en la versión “obsoleta” del Grupo.

Pero BaaN permite una integración del programa de mantenimiento rápido y fácil, así como conseguir en poco tiempo lo que se buscaba, que es la posibilidad de eliminar papeles, es decir, que desde obra haya una herramienta que permita rellenar electrónicamente un parte y enviarlo por mensaje telefónico o GPS, automáticamente al servidor del programa. A su vez, este programa permite poder consultar desde obra, dotándole de la herramienta adecuada, cualquier tipo de información, tanto de repuestos, despieces, fotos, planos o incluso instrucciones de montaje, comentario de lecciones aprendidas si el trabajo se ha hecho anteriormente, e incluso poder utilizar un sistema de simulación para poder localizar una avería eléctrica, electrónica o hidráulica.

6.1.3.1. Gestión Integral del Mantenimiento (GIM):

“Tcman” es una empresa española con más de 16 años de experiencia, especializada en el diseño, desarrollo, implantación y soporte de su programa GIM, para la gestión integral del mantenimiento, específico para la industria, flotas, infraestructuras (*facilities*) y empresas de servicios de mantenimiento y servicios de asistencia técnica (S.A.T.)

Con un equipo de profesionales consolidado y especializado, pone en sus manos la herramienta más funcional, flexible y eficaz para la gestión de mantenimiento.

Actualmente hay más de 1000 empresas en 4 continentes utilizando su sistema de gestión de mantenimiento y activos, obteniendo resultados óptimos.

GIM es una eficaz herramienta para la gestión informatizada del mantenimiento y activos, que integra en su totalidad las actividades de los departamentos de organización de activos; mantenimiento planificado (preventivo, predictivo, conductivo) y no planificado; gestión de incidencias; gestión de múltiples almacenes (pedidos, proveedores, facturación, etc.); recursos humanos (propios y subcontratados), entre otros.

El programa genera toda la documentación necesaria, como órdenes de trabajo, informes, historiales, gráficos, etc., los cuales facilitan el trabajo de gestión, la toma objetiva de decisiones, así como la obtención de certificaciones tipo ISO, QS, etc.

La aplicación del programa GIM permite por ejemplo, dar prioridad a las tareas, asignar diferente tipo de trabajo a partir de la disponibilidad de recursos humanos e inventario; analizar los fallos de equipos; implementar medidas apropiadas para un eficaz sistema de prevención de forma planificada, además de poder conocer los costes reales que supone el área o departamento de mantenimiento.

GIM puede ser utilizado en diferentes sectores (sector industrial, activos inmobiliarios e infraestructuras, flotas, logística y distribución, servicios de mantenimiento, etc.), a partir de las versiones específicas que hay para cada uno de ellos.

GIM es un programa que por sus características, se puede adaptar a las necesidades específicas de cada empresa. ^[9]

La propuesta que hacen los distribuidores de GIM se puede ver en el ANEXO 5.

6.1.3.2. BaaN:

“Infor ERP Baan” es una avanzada solución ERP que apoya el complejo requisito de fabricación de equipos industriales y maquinaria de alta tecnología electrónica, componente de los productores, comerciales aeroespacial, construcción naval y de otras empresas. Una solución totalmente integrada, Infor ERP Baan ofrece múltiples plantas de modelado de procesos de negocio y proporciona visibilidad de la información para la toma de decisiones. Infor ERP Baan ayuda a hacer un balance, reunir a la orden, que a la orden, y el ingeniero a la orden las compañías a reducir su coste total de propiedad de la tecnología.
[10]

La propuesta que hacen los distribuidores de BaaN se puede ver en el ANEXO 5.

6.1.4. Comparaciones:

	GIM	BaaN
Precio del software	27.300 €	0
Precio de implantación	150 € + Ingeniero consultor	44.825 €
Formación	1.400 €	0
Coste de mantenimiento anual	1.725 €	0 – el actual de ERP

6.1.5. Software elegido:

Finalmente el Grupo ha decidido que para facilitar el trabajo y porque habría una mejor comunicación con su ERP van a aceptar la oferta realizada por "Infor ERP Baan".

Los problemas detectados en la fase de análisis y que está previsto resolver con el programa de gestión de mantenimiento:

- Gestión de OT's:

- Apertura de OT's:

La solicitud de apertura de OT's no las abre el peticionario del trabajo

La apertura de OT's en BaaN la realiza siempre el almacén.

Problemas de apertura de OT's por petición telefónica a la hora de la comida.

Con el sistema de gestión de mantenimiento las OT's se podrán abrir directamente en soporte informático por parte del responsable de la empresa partícipe. De esta forma se podrá disponer de forma rápida y ágil de toda la información necesaria para llevar a cabo las acciones necesarias para resolver la incidencia.

- Planificación de OT's:

La previsión de trabajadores en talleres es inadecuada.

El jefe del taller mecánico no tiene un planning de entradas y salidas de máquinas.

No hay una buena preparación de las tareas a realizar.

Es difícil estimar el tiempo de reparación de una avería.

Una vez esté implantado el sistema de gestión se podrán conocer todos los datos necesarios para planificar la

reparación, ya sea en taller o en obra, puesto que será posible saber los mecánicos disponibles, datos de la máquina, disponibilidad de repuestos o plazo para conseguirlos, tiempo empleado en intervenciones similares realizadas, etc. De esta manera será posible planificar la reparación (mecánicos, tareas, tiempo necesario, etc.) consiguiendo que la resolución de las averías sea más rápida y efectiva y la empresa partícipe sepa cuando está estimado que se pueda volver a disponer de la máquina.

o Control de costes de OT's:

Los partes de trabajo siempre llegan con retraso, lo que implica retrasos en los pedidos.

Los partes de trabajo muchas veces están mal rellenados.

Los mecánicos entregan sus partes cuando vuelven al taller (algunas veces tras dos o tres semanas de viaje).

Llegan a Administración partes incorrectos.

Con el sistema de gestión, los partes de trabajo se introducirán directamente en formato electrónico mediante una PDA o tableta electrónica digitalizadora, siendo descargados los datos directamente en el sistema. Al ser partes en formato electrónico no será posible cometer errores al cumplimentarlos, pues todos los datos deberán ser correctos para que se permita su envío. Además estos partes al ser cargados en el sistema por medios electrónicos no será necesario introducirlos a mano, reduciendo drásticamente tanto los errores como el trabajo administrativo.

- Cierre de OT's:

El cierre de las OT's del taller se realiza desde el almacén.

Se pierde la información de las averías solucionadas telefónicamente en obras.

El programa de gestión modificará el proceso de cierre de OT's, permitiendo que las cierren los jefes de taller o los maquinistas o jefes de obra en caso de averías en obra.

- Gestión de materiales:

Se usan distintas denominaciones para las mismas piezas.

El patio no se gestiona como una parte del almacén.

Hay demasiado material para el espacio que se dispone en el patio.

Hay demasiado material en el almacén.

Falta espacio en el almacén.

El sistema de gestión permitirá mejorar tremendamente la gestión de materiales tanto del almacén como del patio, tal y como ya se ha explicado.

- Compras:

BaaN no da el precio que se necesita en Compras.

El sistema de gestión permitirá al personal de compras disponer de gran cantidad de información para realizar su tarea, como por ejemplo, último precio, precio medio, último proveedor, etc.

En pedidos del taller mecánico y de asistencia técnica, Compras requiere más información técnica.

En el sistema se dispondrá de toda la información (planos, fotografías, etc.) de cada una de las máquinas, por lo que para el personal de compras será muchos más sencillo realizar su trabajo sin necesidad de localizar para consultar con la persona que hizo la propuesta o algún técnico.

No hay un buen seguimiento de la entrega de materiales.

Este sistema de gestión permite conocer todos los pedidos que quedan pendientes de entrega, retrasos existentes, proveedores con incidencias, etc. Además de gestionar alarmas cuando se considere que hay un retraso u otras incidencias, por lo que realizar un seguimiento de forma automático será rápido y sencillo.

- Administración:

Hay mucho trabajo administrativo en el parque de maquinaria.

El delineante sólo dedica el 25% de su trabajo en actividades de delineación.

El delineante hace labor de compras.

El delineante hace mucho trabajo de administración.

Después de todo lo mencionado anteriormente y como consecuencia de la implantación de este sistema de gestión de mantenimiento, se reducirá de forma importante el trabajo administrativo y el uso de papeles (partes de trabajo, listas de repuestos para cada OT, solicitudes de apertura de OT's, etc.), ya que muchas de las tareas realizadas ahora de forma manual se podrán realizar automáticamente o mediante medios electrónicos.

6.1.6. Ventajas de la implantación:

Por todo lo expuesto anteriormente se deduce que:

- El software es el camino para solucionar o resolver 12 oportunidades de mejora.
- El software ayudará a mejorar en cuanto a:
 - Eliminación de errores, al permitir que la información sea introducida o rellenada una única vez.
 - Rapidez en disponer de la información: la información se introducirá en el momento que se genere, sin demoras a enviar semanalmente los partes, etc.
 - Reducción de trabajo administrativo y de dobles manipulaciones con la documentación.
 - Permitirá o debe permitir mejorar la productividad en los talleres del parque de maquinaria, del departamento de Compras y de las actuaciones del patio.
 - Permitirá realizar estudios al parque de maquinaria de forma que mejore el rendimiento y la fiabilidad de las máquinas, mediante estudios de fiabilidad, técnicas MTBF, análisis de fallos, tipos de fallos, aplicación de RCM, etc.
 - Mejorará tanto la disponibilidad como la accesibilidad de la documentación de las máquinas, pudiendo enviar planos o fotos de piezas a obra vía GPS, instrucciones de ajuste de elementos, de despiece, etc.

6.2. Definición y descripción de los servicios de mantenimiento:

El Grupo necesitaba ser orientado acerca del mantenimiento de sus máquinas, quería saber como se iban a hacer dichos mantenimientos, quién los iba a hacer para así poder informar a sus partícipes de las nuevas relaciones que pueden tener con el parque de maquinaria.

En el ANEXO 6 se puede ver el documento realizado al Grupo sobre el mantenimiento a realizar en el parque de maquinaria, como realizarlo, procesos a seguir, etc.

De esta manera el parque de maquinaria ofrece a los partícipes una variada oferta de opciones de mantenimiento, de forma que estos son prácticamente configurables a la carta en cuanto a los servicios y gestión de recursos:

- Correctivo en obra
- Correctivo en el parque
- Que el personal sea del partícipe y lo gestione el parque de maquinaria.
- Que el personal sea del parque de maquinaria y lo dedique en exclusiva a un partícipe
- Que el personal sea del parque de maquinaria y lo comportan varios partícipes, cargando a cada uno las horas a él dedicadas
- Sistemas mixtos
- Preventivos realizados por los partícipes con gestión y control del parque de maquinaria (gestión técnica)
- Preventivos realizados por el parque de maquinaria
- Unos preventivos los realiza el partícipe y otros parque de maquinaria o el fabricante de la máquina
- Instalación en las máquinas de sistemas de avisos y de control de los mantenimientos
- Sistemas de predictivo de análisis de aceites con una pequeña intervención del maquinista y el resto del proceso lo realiza el parque de maquinaria
- Sistema de predictivo de análisis de vibraciones que sería subcontratado, pero gestionado y supervisado en su gestión e implantación por el parque de maquinaria (incluso en alguna ocasión se supervisarán en obra los trabajos)
- Sistema de análisis con termografía infrarroja, con el mismo método de funcionamiento que en el caso anterior

Es necesario que cada partícipe lea atentamente este documento y vaya determinando cómo quiere ser su relación con el parque de maquinaria. Pensamos que se debería mantener una presentación y explicación del documento a todos los partícipes y posteriormente mantener reuniones individuales con cada partícipe.

Con relación a las mencionadas medidas oportunas con el maquinista y responsables de Obra que deben ser tomadas por el Dpto. de Producción ante incumplimiento en la realización de los mantenimientos y faltas en el cuidado y conservación de las máquinas, sugerimos un sistema mixto de medidas disciplinarias severas y proporcionales al abandono y deterioro de las máquinas, haya otro sistema que incentive positivamente el mantener los equipos en buenas condiciones, de modo que dentro del sistema específico de cada área para asignar incentivos generales y particulares, ya sean mensuales o anuales, una parte de los mismos tenga una componente debida al Mantenimiento , al igual que lo hay respecto a la Producción y la Seguridad.

6.3. Aplicación de técnicas de mantenimiento predictivo:

6.3.1. Definición de técnicas a aplicar:

En el ANEXO 6 se definen las técnicas a aplicar de mantenimiento predictivo. Van a ser tres las técnicas a aplicar en el parque de maquinaria:

- Análisis de aceites.
- Análisis de vibraciones.
- Termografía infrarroja.

En el apartado 5.2.3 de este proyecto se explica con todo tipo de detalles en que consiste cada una de las citadas técnicas. Pero a continuación se cita el procedimiento que quiere hacer el Grupo.

6.3.2. Procedimiento:

- Análisis de aceites: Este tipo de mantenimiento debe ser igual de obligatorio que las revisiones periódicas, ya que su coste es insignificante y los posibles beneficios, enormes.

El parque de maquinaria hará llegar una caja al Dpto. de Producción con un sobre para cada máquina que contiene dos pequeños botes etiquetados con un número distinto cada uno y dos bolsitas de plástico. Cada sobre va etiquetado con la máquina a la que se ha de hacer llegar.

El Dpto. de Producción distribuye dichos sobres a las obras de forma simultánea para que, de manera más o menos simultánea realicen en obra la toma de muestras según con el procedimiento de toma de muestras siguiente:

"Las muestras se tomarán del aceite motor (en los botes marcados con una "M") y de aceite hidráulico (en los botes marcados con "H"). Para tomar la muestra, la máquina debe haber estado trabajando durante más de una hora y se tomará nada más detener el equipo. Antes de coger aceite para los botecitos se dejará "correr" el chorro hasta que haya salido al menos ½ l de aceite".

Una vez tomada la muestra, han de asegurarse que el bote queda correctamente cerrado y se meterá cada bote en una de las bolsitas

La obra hará llegar al Dpto. de Producción los sobres con los botes, que los enviará al parque de maquinaria en una sola vez por valija y una vez estén todos en el parque de maquinaria se enviarán las muestras al laboratorio y éste mandará los resultados al parque de maquinaria en 2 ó 3 días.

Es conveniente que se anote quién hace la toma de la muestras, de modo que si se detecta cualquier incidencia por haberse hecho mal, se le pueda explicar particularmente cómo hacerlo.

Este ciclo debe repetirse cada 6 meses.

El parque de maquinaria, controlará y procesará los informes de los análisis y la realización de un informe técnico por máquina y partícipe, así como la introducción de todos los resultados en el SGM para control de la evolución, seguimiento e información a los partícipes.

- Predictivo de análisis de vibraciones: este tipo de análisis se subcontrataría, previa aprobación por cada Partícipe, con una empresa especializada que se encargue del análisis de cada máquina, proponer los elementos y frecuencias a controlar por máquina, equipo, base de datos específica a desarrollar para este trabajo y coste de realización, para que de esta manera, cada partícipe analice la conveniencia, interés u oportunidad de su aplicación. La idea de subcontratar este trabajo, es debido a que exige un equipo caro, a veces con distintos equipos de sensores, un personal específica y cuidadosamente entrenado en el manejo de este equipo y el desarrollo de una base de datos muy especial “ad hoc”.
- Predictivo de termografía infrarroja: en este caso, parece más fácil su aplicación, aunque igualmente se va a buscar una oferta para externalizar esta tarea.

6.3.3. Selección de empresas especializadas:

No existe una amplia oferta de empresas que desarrollen las técnicas de mantenimiento predictivo, ya que se necesitan máquinas especiales y sobretodo conocimientos especializados en las técnicas.

6.3.3.1. Definición de las máquinas:

Para poder obtener un servicio subcontratado era necesario hacer un informe de las máquinas a las que se les iba a aplicar el mantenimiento predictivo. En el ANEXO 7 se puede encontrar la descripción de una de las máquinas que existen en el parque de maquinaria.

6.3.3.2. Empresas seleccionadas:

Del mercado han sido seleccionadas tres empresas a las que realizar la petición de oferta:

- Grupo Masa ^[14]
- Dominguis ^[15]
- Preditec ^[16]

Se pidieron ofertas y aunque la del Grupo Masa no era la más económica, se eligió dicha empresa por su amplia experiencia en maquinaria de construcción (durante muchos años estuvo ligada al Grupo Dragados).

6.3.3.3. Estudio número de puntos:

Se les ha suministrado toda la información, han hecho su propuesta y se esta negociando, intentando reducir los puntos a analizar.

6.3.3.4. Número de máquinas a aplicar:

Se quiere empezar con una de las empresas del Grupo. Realizando el mantenimiento a alrededor de veinte máquinas, con aspiraciones a que en un periodo de tiempo no muy elevado pueda estar implantado en todo el parque de maquinaria.

6.4. Definir el “contrato” con las empresas cliente del Grupo:

A las diecisiete empresas de las que está compuesta el Grupo se les envió el ANEXO 6, para que pudieran entender las nuevas relaciones que podían tener con el Grupo.

Tendrían que elegir que como serían sus futuras relaciones, como quieren hacer el mantenimiento a partir de ahora, si van a ocuparse ellos o va a ser el parque de maquinaria quien lo gestione.

Aún no se han finalizado las negociaciones con el Grupo, por lo que no se puede saber como han quedado las relaciones. Pero estamos seguros que si siguen nuestras indicaciones mejorará el rendimiento de las instalaciones, de las máquinas y será mucho más fácil la gestión de toda su información.

6.5. Rentabilidad:

Para poder poner en marcha este sistema, es necesario disponer de mecánicos que realicen los mantenimientos específicos de preventivo, así como de un auxiliar de formación técnica, que se encargue de procesar los datos de los partes, de realizar un seguimiento de los mantenimientos, así como de realizar su programación.

El estudio económico de esta operación, es el siguiente:

- Bases de cálculo:

- Coste Empresa anual de un mecánico: 60.000 €, a lo que se deben sumar los desplazamientos, cuyo coste medio estimado es de 10.000 €, el coste de utilización de un vehículo, coste estimado de 10.000 €, lo que hacen un total de coste por operario y año de 80.000 €.

- Coste Empresa anual de un auxiliar administrativo de perfil técnico: 35.000 €, como coste anual

- Dimensionamiento de la plantilla y cálculo de la rentabilidad de la operación: en la hoja de cálculo adjunta se hace una simulación de la rentabilidad con los datos disponibles de cada empresa. En unas los datos son de enero a agosto, pero en otras los datos son de enero a septiembre. La plantilla se ha dimensionado en un primer momento en 4 operarios y un auxiliar. El cálculo de los 4 operarios es el siguiente:

1. Hay 130 máquinas a mantener entre todas las empresas y el parque de maquinaria hace los mantenimientos de 500, 1000 horas y sus múltiplos

2. Estas revisiones suponen una jornada, incluyendo los desplazamientos

3. Una máquina, en términos redondos hace 2.000 horas/años, lo que suponen 3 mantenimientos a realizar por CATT/año de una jornada cada uno, es decir, 3 jornadas/máquina

4. Como hay 130 máquinas, suponen 390, es decir, redondeando, 400 jornadas/año necesarias para realizar este trabajo.

5. Si van dos personas a cada revisión, suponen 4 personas.

6. Sabemos que en el futuro se puede optimizar y que de las dos personas que van juntas, una sea oficial y el otro ayudante. Incluso en un futuro se puede pensar en que sea una sola persona la que haga la revisión ayudado por el

maquinista. No es lo más importante y preferimos para el cálculo hacerlo con unos datos de costes que son mejorables.

Con los datos obtenidos que están expuestos en el ANEXO 8 se puede observar que este sistema puede proporcionar al Grupo unos ahorros de 1,5 millones de euros en cinco años.

7. CONCLUSIONES:

- Mejoras que se van a obtener:

Los clientes en lo primero que quieren mejorar es en su economía, por lo que se fijaron y presionaron mucho con respecto a la rentabilidad del mismo. En el apartado anterior y en el ANEXO 8 se plantean los ahorros y los costes, con lo que se deduce cual fue la rentabilidad del proyecto. En cinco años este proyecto puede proporcionar al Grupo un ahorro de 1,5 millones de euros. Al ser ahorros anuales, irán aumentando el ahorro año tras año.

También se mejora la productividad del Grupo al disminuir el tiempo que estarán las máquinas paradas, ya que es una consecuencia de la reducción en las averías y en la reducción del tiempo de reparación de las mismas, así como todas las mejoras que ello conlleva.

Al ser el intercambio de información (apertura de OT's de averías, intercambio de información, acceso a los costes de las máquinas, etc), realizado por medios electrónicos, se ahorrará en papel y además se mejorará el acceso y no se perderá la información.

Se van a reducir las subcontratas, tanto porque la mejora de productividad reduce las necesidades de M.O., como por la reducción de averías, y la realización de una parte del mantenimiento por parte de los maquinistas (producción), lo que permitirá mejorar la formación y experiencia del personal propio de la empresa, necesario para la introducción de las nuevas técnicas previstas de mantenimiento.

Aumentamos también la disponibilidad de las máquinas, al disponer de una mejor planificación y coordinación entre todas las empresas del Grupo.

- Posibles mejoras futuras:

Fijación de objetivos de mantenimiento.

Instalación de sensores para detectar los fallos o anomalías en el funcionamiento de las máquinas, ejemplos: Aumento o disminución de la presión o cambio respecto a la velocidad de trabajo habitual, altas temperaturas, vibraciones anómalas, fugas, desgaste de equipos,...

Controlar los costes por máquina, no solo de mantenimiento, sino también de operación, comparando y correlacionando los rendimientos y costes en función del maquinista.

Poder reparar desde la central las averías que se produzcan en obra, pudiendo forzar entradas de un PLC, modificar el SW, detectar fallos, etc vía GPS obteniendo toda la información necesaria de las máquinas, incluso pudiendo recibir imágenes, documentación,....

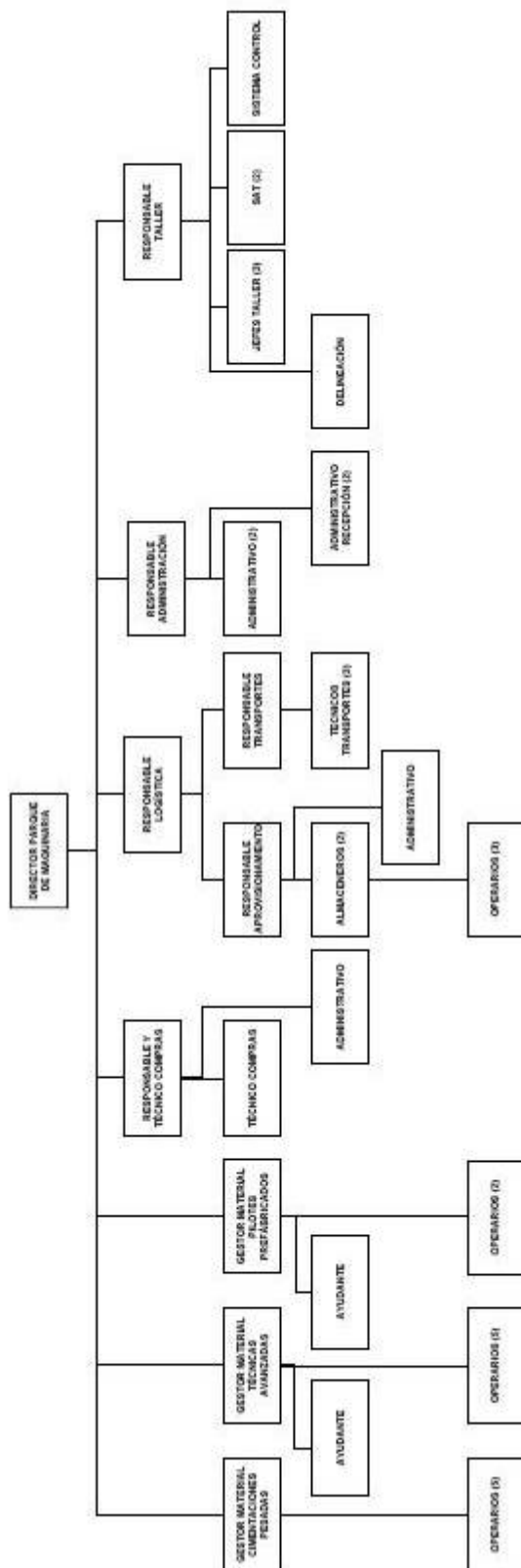
Poder hacer simulación para detección de averías desde el la Central. (Se ha previsto desarrollar programas de simulación que introduciendo el esquema eléctrico, electrónico o hidráulico, los parámetros fundamentales de la máquina y los síntomas, se pueda simular y detectar el problema

Disminuir la necesidad de enviar un técnico a obra.

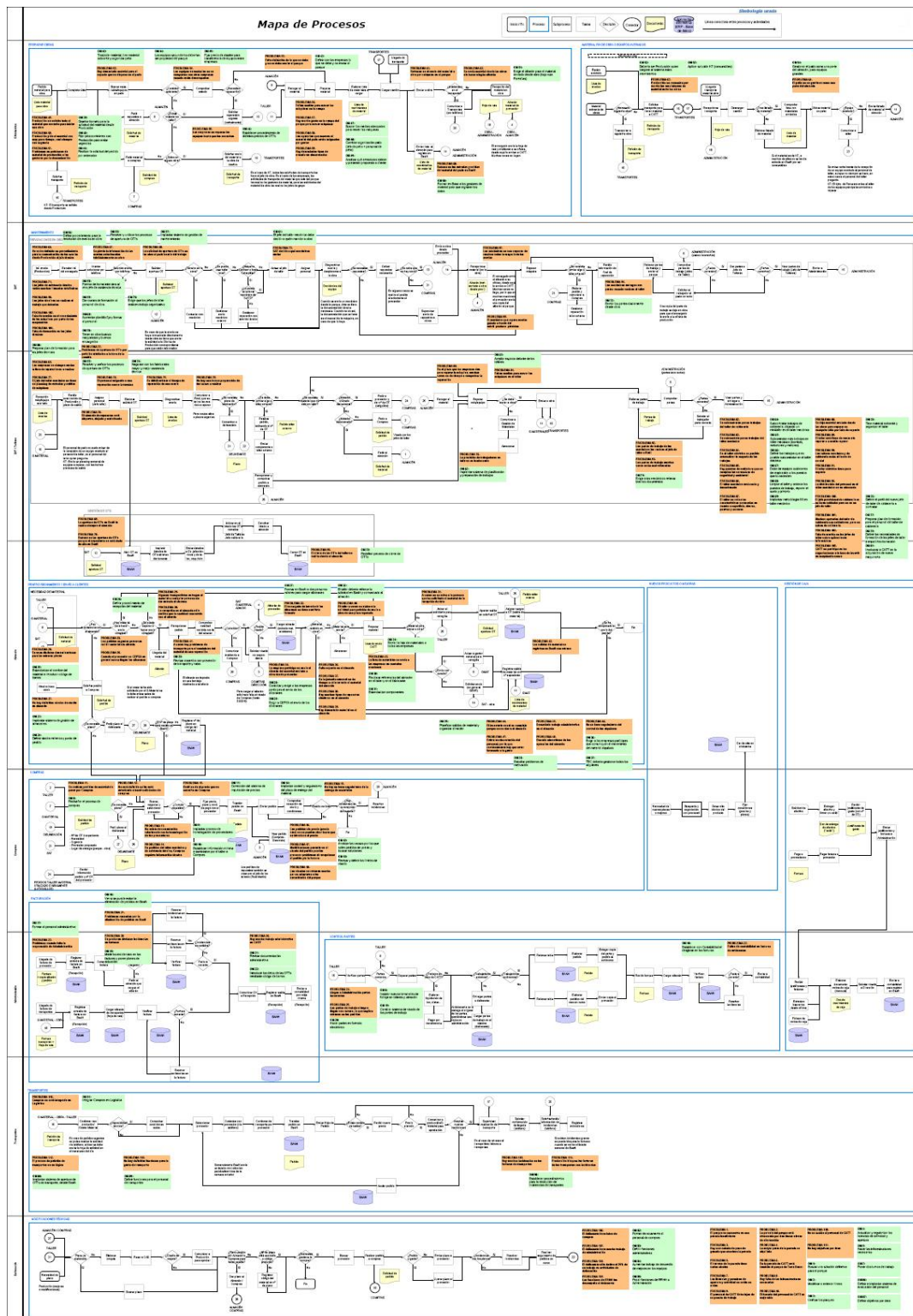
8. ANEXOS:

ANEXO 1 – ORGANIGRAMA DEL GRUPO	109
ANEXO 2 – MAPA DE PROCESOS / OPORTUNIDADES DE MEJORA	110
ANEXO 3 – BASES DE LA OFERTA DE UN SISTEMA DE GESTION INTEGRAL DE MAQUINARIA EN CATT (SGM)	111
ANEXO 4 – PARTES DE MAQUINARIA	129
ANEXO 5 – PROPUESTA DE LOS DISTRIBUIDORES DE GIM Y BAAN	134
ANEXO 6 – DEFINICIÓN Y DESCRIPCIÓN DE SERVICIOS DE MANTENIMIENTO	138
ANEXO 7 – DOCUMENTACIÓN MÁQUINAS	150
ANEXO 8 – RENTABILIDAD	160

ORGANIGRAMA DEL GRUPO



MAPA DE PROCESOS / OPORTUNIDADES DE MEJORA



BASES DE LA OFERTA DE UN SISTEMA DE GESTION INTEGRAL DE MAQUINARIA EN CATT (SGM)

1. **Objetivo:** El objetivo de este documento es definir con la mayor precisión posible tanto el funcionamiento, como el proceso a seguir, la información a procesar y la información a elaborar, de forma que permita avanzar y mejorar el funcionamiento del Parque de Maquinaria del Grupo en Paracuellos del Jarama, permita el control financiero y el control de las operaciones y Gestión del parque de maquinaria y les dé a cada una de las empresas del Grupo para las que trabaja el parque (en adelante les llamaremos partícipes), la información que precisan: máquinas en las que se está trabajando, fecha prevista de finalización, operarios que están realizando el trabajo, horas que llevan imputadas, su coste, las piezas que se le han cambiado, si está parada a la espera de la llegada de un repuesto, indicadores de operatividad de las máquinas y del servicio que realiza el parque, etc.
2. **Módulos y aplicaciones:** Los distintos módulos o áreas de funcionamiento requerido de este SGM es el siguiente:
 - a. Almacén: debe disponer la información completa sobre cada uno de los repuestos que existen en CATT, tanto nuevos elementos que se van incorporando, como todos los materiales o componentes individuales que se disponen y que pueden cambiar de ubicación. Incluso debe controlar todo el material del patio, material ubicado geográficamente en localizaciones diferentes para cada partícipe y en donde se almacenan equipos o componentes distintos que se montan en las máquinas para realizar distintas operaciones o la misma operación pero con distinto diámetro o ancho (es el caso de equipos de perforación de distinto diámetro, de realización de pantallas de distinto ancho, etc). También se guardan en el patio máquinas completas y equipos auxiliares. Las máquinas deben tener simplemente un control sobre su ubicación y existencia, movimientos de entrada y salida, así como su estado o necesidad de realizarle algún tipo de intervención en los talleres. Los equipos auxiliares deben controlarse de manera similar a las máquinas principales. Finalmente los equipos de perforación o componentes, deben controlarse su estado y necesidad de revisión con especial cuidado, con una ficha de seguimiento y control que nos indique si ha perdido espesor, diámetro o cualquier parámetro o

elemento que nos indique su desgaste, debiendo conocer si cuando se llegue a su límite de desgaste, tiene reparación o se debe proceder a su sustitución.

De los repuestos, componentes, máquinas, equipos auxiliares, etc, se debe conocer su coste de adquisición, amortización, coste actual en el caso de los repuestos o componentes, proveedor principal o preferido y proveedores alternativos, último precio y evolución del mismo, plazo de entrega, ubicación, consumo, evolución del mismo, la o las máquinas que utilizan dicho repuesto, en que componente va montado, si hay alternativa de sustitución en caso de que no haya existencias, etc.

Por supuesto que al sacar un repuesto, debe cargarse a una OT (solo se puede sacar un repuesto si hay OT), debe poder reservar un repuesto para un trabajo planificado en una fecha determinada, aunque se podrá disponer de él solamente en caso de avería en obra de una máquina parada (en caso de que no haya más existencias y debido a que una máquina parada supone una mayor prioridad) avisando y reprogramando los trabajos planificados, si el plazo de entrega es mayor que el restante para el inicio, que requieran ese repuesto y deberá permitir definir el stock mínimo, la cantidad a pedir y deberá emitirse un pedido automáticamente al quedar un repuesto por debajo del stock mínimo.

También se debe conocer de cada repuesto a qué partícipe está afectado, el coste del stock en cada momento, su distribución por partícipes, la rotación, el coste de amortización del stock, cobertura, repuestos sin movimiento en los últimos 6 meses, posibilidad de realizar estudios de reducción global del stock aumentando la frecuencia de reaprovisionamiento y el plazo de entrega, control de repuestos de largo plazo de entrega o de los de muy elevado coste, etc.

Además deberá contemplar toda la gestión de almacén a obras: orden de preparación, albarán de salida, salidas de material, movimientos de material entre obras, consumos de materiales, carga de los datos mediante código de barras,...

- b. Historial de las máquinas, equipos auxiliares y componentes que se quieran controlar de forma individual. En ellos deberemos disponer de una información individual de unos 700 elementos. Cada elemento vendrá identificado:
- i. Máquinas: por su número de matrícula o codificación, el partícipe al que corresponde, el fabricante, su principal aplicación y las otras posibles.
 - Aparte de dicha información se deberá disponer de otra de orden técnico, como son: su gama de trabajos, los posibles equipos auxiliares con los que se le puede equipar, los equipos auxiliares propios de dicha máquina (que fueron comprados específicamente para dicha máquina) y el listado de todos los equipos y componentes que pueden ser utilizados en dicha máquina. También deben figurar las especificaciones del fabricante en cuanto a sus condiciones de trabajo, tipos de equipos a utilizar, etc. y los rendimientos estándar en su trabajo, en función del tipo de terreno.
 - La otra información que necesitamos disponer es la información operativa, en la que debe figurar: obras en las que ha estado, tipos de trabajos realizados, horas de funcionamiento, rendimientos obtenidos, maquinistas que ha tenido, relacionados con los trabajos, las horas de funcionamiento, los rendimientos y las averías o intervenciones que se le han realizado a la máquina, repuestos utilizados, horas de intervención en cada avería, historial de los preventivos realizados, quién ha realizado cada preventivo o intervención, coste del mantenimiento, relación anual de la relación entre las horas y el coste del preventivo y el del correctivo y los rendimientos, relación entre el coste operativo de los 2 años primeros de vida y el actual, relación entre el coste de mantenimiento y el de operación, relacionados con el coste de reposición.
 - ii. Equipos auxiliares: aquí el seguimiento debe ser similar al de las máquinas principales, aunque en la información operativa, al no ser equipos de producción directos, no se podrán obtener los datos de rendimiento.
 - iii. Componentes: el seguimiento debe ser solamente de en qué máquinas principales o auxiliares han sido instalados, sus averías, el coste de las mismas, la causa de las averías, las horas de funcionamiento, los rendimientos y las averías o intervenciones que se le han realizado a la máquina,

repuestos utilizados, horas de intervención en cada avería y el coste de mantenimiento versus coste de reposición.

- c. Gestión y planificación de OT's: La OT es la orden de trabajo, documento que sirve de base para planificar, iniciar un trabajo, sacar un repuesto del almacén, cargar horas, realizar intervenciones en máquinas, etc.

Las OT's las dividiremos:

- i. **OT's de avería**: en ellas se debe diferenciar si la máquina está parada o si está trabajando con problemas. En este último caso debe figurar la fecha deseada o posible de intervención. Las OT's de avería, con máquina parada es algo que exige la actuación inmediata, para lo cual se debe desencadenar todo un protocolo de intervención que se describirá más adelante. Si la máquina puede seguir trabajando, se debe conocer la gravedad de la avería y acordar con el partícipe la fecha de la intervención.
 - ii. **OT's planificadas**: pueden ser de varios tipos: de mantenimiento periódico o preventivo, de mantenimiento predictivo, de modificación o preparación de una máquina, de grandes intervenciones o de necesidad de intervención en el taller, de seguridad, de I + D+ I,... Estas OT's deben ser planificadas y para ello se debe proceder a la preparación del trabajo, actividad de la que también hablaremos posteriormente.
 - iii. Las OT's se **subdividirán por especialidad**: eléctrica, mecánica, calderería y por componente, de modo que una Intervención ya sea programada o sea una avería, tenga varios trabajos asociados y se pueda por otro lado controlar el historial de cada componente.
- d. Apertura de OT's: Las OT's las abrirá cada partícipe. Si la avería es de obra, será el maquinista o el encargado de la misma, quien se ponga en contacto con el responsable de cada partícipe y éste rellenará sobre la pantalla de su ordenador la solicitud de apertura de OT, en el cual si los campos mínimos imprescindibles no están rellenos, no podrá enviarse a CATT. La información mínima es: máquina, expediente, localización de la obra, maquinista, teléfono de contacto en obra, síntomas del fallo (el sistema irá acumulando síntomas de modo que salga un desplegable y se pueda seleccionar o escribir a mano para la

determinación de la causa del fallo), elemento de la máquina al que afecta, si la máquina está o no parada, la opinión del maquinista sobre el componente que está fallando, así como si el maquinista considera que la avería es eléctrica, mecánica o de calderería, Tipo de OT y se debe poder adjuntar archivos y un campo de observaciones adicionales o lista de fallos, urgencia y si requiere presupuesto previo (si requiere presupuesto no permitirá lanzar ninguna orden de compra con cargo a dicha OT hasta que dicho presupuesto sea aprobarlo sobre el sistema por el partícipe, dejando tan solo imputar las horas necesarias para realizar el presupuesto). También se deberá informar si se ha intentado utilizar la herramienta o guía del fabricante para conocer el elemento que está fallando. Si la avería es en una máquina principal que además está parada, no hace falta indicar nada en cuanto a fecha de intervención, ya que se sobreentiende que CATT le debe dar prioridad absoluta y enviará a un operario urgentemente a reparar la avería, salvo que se pueda resolver por el maquinista, enviándole o no un repuesto. Si la máquina no estuviese parada, deberá conocerse la gravedad de la avería y lo que afecta la misma a la pérdida de producción o a la seguridad en obra a fin de decidir la urgencia en la reparación. Estas urgencias serán: A, que significa intervención inmediata, B, intervención muy urgente o en la fecha que indique el partícipe y C, intervención a planificar, no más tarde de.... (una fecha a definir) y si la OT es para realizar en Taller o en Obra. En los casos de OT's planificadas, hay que distinguir la urgencia del trabajo, para lo cual sirve la misma clasificación que hemos descrito en el apartado anterior. Respecto a las OT's planificadas, estas se pueden iniciar a petición del partícipe, a petición de los gestores de material del Patio o a petición de los Jefes Técnicos de CATT. Aunque la petición de la realización de un trabajo se inicie en los Gestores de Material o en los Jefes Técnicos, estos deben ponerse en contacto con el responsable del partícipe, ya que solamente ellos pueden realizar las aperturas de OT's.

El sistema registrará el usuario, fecha y hora de apertura de OT.

El sistema asignará un nº automáticamente al abrir la OT.

CATT debe poder abrir OT para casos de emergencia.

Las subOT's serán abiertas por CATT y al hacerlo se tomarán los campos clave de la OT principal

e. Planificación de OT's:

i. **Averías de Obra:**

- Máquina parada: el responsable técnico asignado a cada partícipe recibirá la OT. Dicho responsable la estudiará a fin

de intentar determinar con la información disponible, la posible causa de la avería. En caso de requerir alguna información suplementaria, contactará con el responsable de maquinaria del partícipe o incluso con el maquinista o encargado de obra, a fin de conseguir dicha información. Con esta situación, se pueden producir dos alternativas, en función de que se necesite enviar un técnico o bien que sea posible resolver o al menos intentar resolver la avería directamente por el personal de obra, en cuyo caso, puede hacer falta o el envío de un repuesto (en cuyo caso iniciará los trámites necesarios con el almacén para hacer llegar dicho repuesto a la mayor brevedad posible), o facilitarles un mecánico o electricista de no alta cualificación de un taller local, con o sin repuesto no específico, con lo que igualmente se pondrá en marcha para iniciar y resolver los trámites, tales como contactar con el taller local, si hiciese falta también con el almacén de material eléctrico o mecánico local, localizando el personal y el material necesarios para resolver la avería, enviarles un fax pidiendo la intervención y solicitando o acordando los precios del material y del coste horario de la intervención, informando posteriormente a obra de las gestiones realizadas, vía responsable de maquinaria del partícipe.

En caso de no ser posible resolver la avería localmente, se procederá a localizar la persona de CATT que se encuentre a una distancia de menos de 250 Km de la obra que tiene la máquina averiada y que conoce la máquina, igualmente empieza a buscar información sobre el histórico de la máquina, sobre las averías y mantenimientos realizados a la misma, modificaciones que ha sufrido, etc. Con toda esta información, decidirá qué operario puede enviar, el tiempo de desplazamiento y el tiempo estimado de reparación, la herramienta, los repuestos, la documentación de la máquina, los planos, instrucciones de montaje, desmontaje y ajuste, fotos si las hubiera, etc. Esta información se deberá o entregar al operario antes de salir a obra, si sale de CATT y si se envía a un operario que ha terminado otra reparación antes de volver a CATT, se le debe enviar la documentación de forma electrónica, bien al equipo instalado en las furgonetas de asistencia técnica de CATT, bien a la PDA personal del operario. Con esta información el partícipe conoce en cada momento la previsión de la fecha de reparación de su máquina. Si decidiese que necesita acelerar dicha fecha, contactará con los responsables a fin

de ver las medidas excepcionales que se pueden tomar a tal fin.

- Para la avería en obra de máquina no parada, el proceso será similar, incidiendo más en la posibilidad de reparación in situ, descrita en el caso anterior o bien en repararla enlazando la terminación de alguna reparación en curso, evitando en lo posible el envío desde CATT de un nuevo operario.
- ii. **OT's de Reparación programada en OBRA:** En estos casos se deberá hacer siempre una planificación detallada de las tareas a realizar y cómo realizarlas, operarios requeridos y previstos, repuestos necesarios, los cuales quedarán reservados salvo que se produjese una avería que suponga máquina parada en obra, en cuyo caso esos repuestos se utilizarán para solucionar la avería, encargando inmediatamente un nuevo repuesto y confirmando que los mismos estarán disponibles en la fecha prevista de la reparación programada en obra. Igual que en los demás casos la apertura de la OT se realizará por el responsable de maquinaria de la empresa Partícipe, la planificación por el responsable técnico en CATT del Partícipe y el cierre por el maquinista o Jefe de Obra.
- iii. **OT's de mantenimiento o reparación planificada en CATT:** en este caso, salvo que sea un mantenimiento preventivo o predictivo muy bien definido, con su gama de trabajo definida que deba realizar CATT, al llegar la máquina a CATT será revisada cuidadosamente por el Jefe Técnico de la empresa partícipe propietaria de la máquina y realizando el protocolo de entrada definido para cada partícipe. Dicho Jefe Técnico contrastará lo que observe en la máquina con el contenido del trabajo definido en la OT emitida. Si está de acuerdo, pasará a planificar el trabajo, para lo cual deberá rellenar la hoja de preparación (salvo que por una intervención anterior dicha hoja esté ya preparada), y revisar la ficha de la máquina indicando: actividades en la secuencia que deben ser realizadas, número de operarios que se requieren en cada tarea o actividad, herramientas, repuestos y tiempos concedidos por tarea, así como tipo de operario que debe realizar el trabajo (A,B,C), para lo cual dispondrá de la base de datos de los operarios y de su carga de trabajo o previsión de finalización de su trabajo actual, con lo que procederá a planificar dicho trabajo, el cual, antes de ser admitido por el sistema, pasará por el filtro de verificar que los repuestos necesarios existen en el almacén y que no están reservados

para otros trabajos de igual o superior urgencia. Si todo es conforme, el trabajo queda planificado. Podría sufrir incidencias si debido a una avería de máquina parada en obra, se debe disponer de dicho repuesto, por lo que en ese caso, el sistema procede a pedir un nuevo repuesto de forma automática, a calcular la fecha prevista de recepción y si fuera necesario, retocar la fecha de inicio del trabajo, avisando con un mensaje o correo electrónico a su planificador. Para las máquinas que tengan previsto un mantenimiento planificado, a la OT se le introducirán los datos de la gama de trabajo de dicha revisión, se reservarán los materiales, se definirá el perfil del operario necesario para dicho trabajo, se consultará la planificación de tareas por operario y se elegirá operario e introducirá en el planning.

Cuando al entrar una máquina en CATT para realizarle una intervención, el Jefe Técnico observe que tiene más problemas de los descritos en la OT, se pondrá en contacto por correo electrónico con el emisor, informándole de los problemas de la máquina que no recoge la OT. Si el emisor de la OT lo acepta, se modificará la OT y renegociará el plazo de entrega de la máquina, en caso contrario, el Jefe Técnico se ceñirá a lo indicado en la OT, en donde su responsabilidad quedará eximida en caso de problemas posteriores en la máquina.

- f. Control de costes de OT's: Las OT's deben recoger la información referente a la parte de trabajos realizados, de su planificación, de su estado de trabajo en ella o no y finalmente de sus costes. Los costes de una OT, son:
- i. **Mano de obra**, bien sea de personal propio o de personal de empresas subcontratadas. Cada día, al iniciar su trabajo, cada operario debe fichar en su taller, con su tarjeta de identificación personal e introducir el número de la OT en la que está trabajando (está previsto que se le dé al operario una etiqueta en código de barras con la codificación de la OT). De esta manera, mientras en dicha jornada trabaje en una OT, sus horas se verán cargadas en la misma. Si termina el trabajo o pasa a realizar otro, ficha en su taller que ha terminado de trabajar en esa OT y el inicio de su trabajo en otra. Así se captura automáticamente la información en el taller y se evitan papeles, errores, tareas administrativas sin valor añadido, etc.

La información pasa a un estado pendiente de validar, pero se imputan esas horas provisionalmente. Una vez validado por el responsable correspondiente quedan como definitivas

y se incorporan para el personal propio en la información para nóminas y en el caso de que sea mano de obra de contratas, para el pedido de compra.

Si el personal (caso de mecánicos específicos de mantenimiento) es del participe, la información deberá procesarla el Participe en la misma pantalla e ir a los módulos de gestión de maquinaria y conectarla con el resto de información de nóminas de su empresa.

Los partes de trabajo en Obra se procesan a mano sobre el SGM tanto de personal propio como de subcontratas. El SGM debe tener previsto el poder en un próximo futuro enviar mediante cualquier tipo de dispositivo electrónico la información básica al SGM: horas, OT, repuestos que se llevó el operario (cargados previamente por el sistema al operario asignado), repuestos que instaló y repuestos que vuelven al almacén.

- ii. **Materiales:** Hay dos tipos de materiales, los del almacén y los de compras. Al almacén debe poder acceder un operario con su tarjeta de identificación y con su nº de OT o etiqueta codificada de la OT y pedir así el material que necesita, la ubicación aparecerá en el ordenador o en la pantalla del almacén. Cada repuesto tiene etiqueta autoadhesiva con su c.d.b., para que al pasarle el lápiz óptico se va considerando el repuesto como salido del almacén y como cargado a la OT. Si el material es de compras, esa incidencia deberá ser controlada por el módulo de compras, habiendo la propuesta de pedido realizada por el Jefe técnico a la hora de planificar la OT. El pedido irá cargado a la OT y a su recepción, su cargo será automático. En caso de que la necesidad del material de compras no hubiese sido prevista, el operario avisará al Jefe Técnico de la necesidad del material y éste realizará la propuesta a compras, imputando el material a la OT. El resto del proceso es idéntico al que acabamos de describir.

Para la salida de materiales a expedientes (obras) se emplea también el lector de código de barras.

- iii. **Mano de Obra de subcontratistas:** se tratará exactamente igual a la mano de obra propia del taller. Ese personal deberá fichar y trabajar de forma similar al del taller. Los datos procesados generarán el pedido de compra al proveedor.

- iv. **Compras:** ya está descrito en el apartado de materiales.
 - v. **Alquiler de equipos:** Las grúas, equipos de movimentación de máquinas, etc, serán prevista su necesidad en la planificación y serán pedidos al lanzar o iniciarse el trabajo, cargándose su coste a la OT correspondiente.
 - vi. **La situación de los costes** debe actualizarse cada día, con las horas cargadas cada día y la información debe estar accesible para ser consultada por cada partícipe en cualquier momento, información que se debe agrupar por OT, por partícipe, por expediente, etc.
- g. Seguimiento de Trabajos de las OT's: Tanto por parte de CATT como por el Departamento de Producción de cada uno de los partícipes, se debe poder acceder a una pantalla donde esté la siguiente información:
- i. Datos de apertura de las OT's
 - ii. Fecha de inicio
 - iii. Fecha de finalización
 - iv. Datos horas imputadas:
 - Operario
 - Empresa (si es de CATT o de una subcontrata)
 - Día
 - Horas
 - v. Artículos cargados (desde almacén):
 - Código
 - Descripción
 - Cantidad
 - Fecha
 - vi. Compras (equipamiento/materiales)
 - Descripción del material
 - Cantidad
 - Fecha pedido
 - Fecha recepción del material
- h. Cierre de OT's: Para el cierre de una OT, hay dos procedimientos en función de que el trabajo se haya realizado en obra o en el taller:
- i. **Cierre de una OT de obra:** En este caso será el maquinista o el Jefe de Obra los que rellenarán los datos pertinentes de hora de inicio de la reparación, hora de finalización, tiempo total de parada y valoración de la intervención realizada. El operario de CATT ampliará la información con la descripción de los

trabajos realizados, de los repuestos empleados y si ha visto alguna anomalía en la máquina que debe ser supervisada o reparada. En el caso de que la reparación haya sido solucionada sin necesidad de envío de un operario de CATT, esta información será completada por el personal de obra y la información respecto a la valoración de la intervención, se convertirá en valoración del apoyo y soporte recibido desde CATT.

- ii. **Cierre de una OT en CATT:** el jefe técnico correspondiente, será informado de que el trabajo se ha terminado, enviando al emisor de la OT un correo informándole de la situación del trabajo finalizado y que se va a proceder al cierre de la correspondiente OT. Dicha OT se cerrará por aceptación del emisor de la OT, el cual tiene 48 horas para personarse en CATT y revisar la máquina. Transcurridas dichas 48 horas sin respuesta o sin la visita del emisor, la OT se cerrará automáticamente. Este proceso debe ser automático, debiendo quedar registrados cada uno de los pasos.
-
- i. Parte de Averías:

Las averías deben ser registradas en el sistema y enlazar con las OT's. Actualmente los partícipes registran datos de averías en distintos formatos: Excel, Access, etc. La información debe estar registrada en el SGM por el usuario que se decida (podrá ser el propio Partícipe o CATT)

Se adjuntan en el anexo un modelo de las bases de datos Access de uno de los partícipes y el parte que rellena el personal de producción en obra y un Excel de otro de los partícipes que se registra con la información recibida telefónicamente.

En ambos casos, y a corto plazo, esa información está ligada con los rendimientos que se consiguen en producción y se quiere determinar lo que afectan las averías en el rendimiento de las máquinas de producción por lo que se debe pensar poder enlazar esta información próximamente con un modulo de Control de Producción.

La información de averías se debe poder introducir como se ha descrito y debe estar ligada con las OT's:

 - Desde la misma pantalla de las OT's, debe haber un botón de enlace a la pantalla de registro de averías y que de esta forma se disponga de la información común registrada en las OT's, para no tener que introducirla nuevamente. Esto es para el caso de registrarla después de la OT
 - Si se registra primero la avería desde la pantalla de registro de averías, debe poder enlazar con la pantalla

de solicitud/apertura de OT, de modo que en la apertura de OT's aparezcan los datos comunes de la avería y no tener que introducirlos nuevamente.

Una avería genera siempre una OT (requerirá o no una intervención de mecánicos) y de esta forma tienen que estar ligados los partes de avería con la OT generada por ella.

La información que se registra es (ver detalle de esta información en el anexo):

- Equipo
 - Número de equipo
 - Número de horas que lleva trabajadas el equipo
 - Expediente
 - Zona
 - División o tipo de obra
 - Urgencia
 - Obra o Parque
 - Códigos de producción
 - Fecha de inicio
 - Hora de inicio
 - Fecha de finalización
 - Hora de finalización
 - Encargado de la Obra
 - Maquinista
 - Responsable de CATT
 - Estatus de la avería (esto deberá calcularlo el sistema):
 - Pendiente
 - Iniciada
 - Fin
 - Síntomas
 - Solución
 - Partes afectadas
 - Valoración de mecánicos
 - Coste hora del equipo parado
 - Coste total de parada por avería
- j. Compras y Gestión de materiales: La gestión de materiales se refiere especialmente a toda la serie de equipos y de materiales que se almacenan en el patio. El patio se ha distribuido de acuerdo con los partícipes y se debe poder gestionar cada zona como un almacén (ocho, aproximadamente), en el que se encuentran materiales que se usan en una obra y se devuelven a CATT. A la llegada del material a CATT, se descarga en la zona (almacén) del partícipe propietario del equipo o material, se revisa y se observa si está en condiciones de volverse a utilizar o si por el contrario, se debe tirar por ser su estado irrecuperable.

En este módulo se debe controlar el material que se debe preparar y enviar a cada obra (existen plantillas con la relación de material necesario para la realización de tipos definidos de obras), el material en dicho almacén, el que retorna de cada una de las obras y el material que se debe enviar a reparar, cuya información se enviará al responsable del material del partícipe, que es el que debe realizar las correspondientes aperturas de OT's, de las que recibirá copia el Gestor de Material que hay en CATT nominado para cada partícipe.

En cuanto al apartado de Compras, el sistema debe disponer de una herramienta que permita definir el repuesto que se desea disponer en el almacén de repuestos, si son repuestos de mercado o de un fabricante determinado. En el caso de ser una pieza a fabricar en un taller mecánico o de reparación de un material en el exterior, la petición debe emitirla un responsable, definiendo el material a fabricar, el plano o documentación que se aporta (en ocasiones puede ser una pieza de muestra), el material, las cotas críticas a controlar, los tratamientos superficiales si los lleva, la OT, la máquina o equipo en la que va montado, el plazo de entrega requerido, etc.

Finalmente, el módulo de compras debe tener una herramienta de ayuda al seguimiento de las entregas y de los plazos, de forma que cada semana de un listado de los pedidos que su plazo expira la semana siguiente.

Deberá disponerse desde la misma pantalla al realizar el pedido una ayuda consistente en:

- Poder ver para cada uno de los artículos, los últimos precios por proveedor y lotes comprados y poder seleccionar uno de entre ellos.
- Poder ver para cada proveedor los artículos con sus últimos precios y lotes comprados.
- Esta información de precios la debe almacenar el sistema automáticamente sin necesidad de rellenarla a mano y debe estar actualizada en esta ayuda.

El precio por defecto será el precio vigente actual, el cual se puede poder actualizar a mano por artículo o por proveedor. Cuando se hace un pedido sale el precio por defecto y si se introduce uno distinto o bien si no es seleccionado del listado, deberá preguntar si es el nuevo precio vigente. Este precio lo incorpora a la base datos siempre y en caso de ser elegido como nuevo precio vigente es el que se obtendrá por defecto para ese

proveedor. Debe poder hacer esto por lotes y tener previos vigentes en función del lote pedido.

- k. Gestión del mantenimiento preventivo (el procedimiento de gestión del mantenimiento está en elaboración): el mantenimiento preventivo e inspecciones periódicas de determinados elementos .en función del tipo de mantenimiento que le toque a la maquina cada vez, se podrá hacer en obra por personal de producción del partícipe, en obra por personal específico de mantenimiento, que podrá ser plantilla de Producción o de CATT o subcontrata, y en otros casos por un servicio técnico oficial. Los mantenimientos realizados generan un informe en el que se indica anomalías y trabajos necesarios realizare y definiendo si es por el personal de obra o de CATT y la urgencia. Al procesar esto se podrá programas intervenciones y poder pegar o transferir la información de trabajos a realizar a la apertura de la OT. También se indica el grado de operatividad de la máquina. En cualquiera de las circunstancias, hay de cada máquina una gama preparada de las tareas que conlleva cada uno de los mantenimientos periódicos. Estas gamas de mantenimiento de las máquinas deben figurar en una base de datos y con el histórico de máquinas debemos de poder controlar el cumplimiento y realización de las mismas o no, las horas imputadas en estos preventivos y su relación con el correctivo. Cuando una máquina sobrepase en un 15% las horas estipuladas sin que se realice el preventivo, debe emitirse automáticamente un mensaje que llegue a la Dirección la empresa partícipe, pidiendo que este se realice a la mayor brevedad posible. Asimismo se controlará el contador de horas de las máquinas para que el contaje de la nueva revisión comience al terminar la anterior.
- l. Gestión del mantenimiento predictivo: de las distintas posibilidades de aplicación de predictivo que hay en la actualidad, hay tres que se piensa iniciar su aplicación de manera inmediata:
- i. **Análisis de aceites**: hay que preparar un plan por máquina, de la que se deben conocer los distintos tipos de aceites a utilizar, la criticidad de cada uno de los elementos que lubrica o utiliza dicho aceite, el sitio del que se deben extraer las muestras, las frecuencias, la información que debe contener cada muestra (expediente, máquina, fecha, maquinista y punto de extracción), información que se

rotulará sobre la etiqueta adherida a la muestra. La muestra se enviará a CATT, que se las hará llegar al día siguiente a CEPESA. Los resultados del análisis serán enviados a CATT, quien deberá hacer un seguimiento por máquina y muestra, emitiendo un informe de seguimiento en el que se definan las acciones correctoras en el caso que deba tomarse alguna y la urgencia de las mismas.

- ii. **Análisis de vibraciones:** este tipo de análisis debe ser aplicado únicamente a partes de máquinas sometidos a rotación y quizás a elementos que deslizan sobre guías lineales. Se requiere de un equipo especial para medir la amplitud y la energía de la vibración y se debe seguir la evolución de estos dos parámetros, con el fin de evaluar en qué momento la vibración ha sobrepasado el umbral en el que el deterioro se desarrollará muy rápidamente, pudiendo estimar el tiempo disponible antes de producirse la rotura. Por ello, tanto si CATT compra el equipo necesario, como si subcontrata esta tarea, hace falta en cada máquina definir los puntos en los que se van a medir las vibraciones, las frecuencias normales y el umbral máximo admisible. Debe de poderse expresar estos valores de forma gráfica, asegurase que siempre se mide en el mismo punto y con el mismo equipo y a ser posible capturar de forma automática los valores desde la máquina utilizada (la más extendida son las Ingersoll Rand y SKF)
- iii. **Termografía:** se puede aplicar de forma inmediata para cables, paneles y elementos sometidos a fricción violenta, de forma que por infrarrojos veamos o detectemos temperaturas anormalmente altas o incluso derivaciones a tierra que serán la causa de futuras averías. El control y seguimiento se debe hacer de forma similar a lo expuesto en los casos anteriores, aunque aquí debemos de recoger una imagen infrarroja digital, evaluarla y almacenarla, identificando máquina, expediente, maquinista, fecha, componente, etc e igualmente en el momento que se detecte algún punto de calentamiento anormal, se debe desencadenar una serie de inspecciones a fin de resolver el problema antes de que se produzca una avería.

- m. Gestión de la Documentación: este módulo se refiere a disponer en formato electrónico no solo los manuales de operación y mantenimiento de cada máquina, los planos de cada una de las piezas que se vayan croquizando (pasados a pdf), fotos de repuestos, de identificación de elementos o componentes dentro de un conjunto, árboles de repuestos, instrucciones de montaje, desmontajes, galgones y ajustes. Todas las modificaciones

realizadas en un máquina, despiece y todos los componentes de almacén con su códigos.

- n. Comunicaciones y captura de datos en Obra: el sistema debe estar previsto de forma que en un futuro inmediato se pueda minimizar o incluso eliminar la necesidad de comunicaciones telefónicas y la introducción manual de datos, relleno manual de impresos, envío semanal de un paquete de partes e impresos, etc. La apertura de OT's, la planificación de las mismas, la recepción de los partes de avería en las obras, la carga diaria de las horas trabajadas por operario a cada OT, la carga de los repuestos a las OT's, el envío de información en formato electrónico a obra, etc., todo ese flujo de información debería de ser realizado vía comunicaciones inalámbricas, vía wifi, GPS, SMS, etc.
- o. Gestión de dietas, liquidaciones de viajes y desplazamientos: es una pequeña aplicación que aprovechando la propia base de datos del programa, debe ser capaz de capturar las horas de desplazamiento de cada operario, los kilómetros realizados, comparar ambas cifras para determinar si hay anomalías en su relación, gastos incurridos por dietas, comidas, gastos, desplazamientos o gasolina, etc., evitando tener que realizar estos cálculos mensualmente para cada operario de CATT.

Esto se debe poder procesar directamente al introducir un parte de trabajo. Si el parte es de un trabajo en Obra, se introducen los datos adicionales necesarios: horas de desplazamiento, kilómetros realizados, dietas, gasolina, peajes, comidas, etc. y generará el impreso de liquidación correspondiente a la vez que registrará la información de los cargos y las dietas a pagar a cada operario y sacará un informe de las horas de desplazamiento, Km, complementos, dietas, etc. realizados en el mes.

- 3. **Indicadores**: A partir de los datos introducidos y que debe contener el sistema, necesitamos disponer de una serie de indicadores, indicadores que distinguimos entre internos y externos. Los primeros serán utilizados dentro de CATT, como indicadores de gestión o cuadro de mando de CATT para manejar y controlar el funcionamiento, de acuerdo con unos objetivos que tendrá cada una de las distintas secciones. Los segundos, son los indicadores que se utilizarán con los distintos partícipes como indicadores de operatividad de las maquinas y del servicio que CATT da a cada partícipe y sobre los cuales también se pondrán y fijarán objetivos de seguimiento.

a. Internos de gestión:

i. **Taller:**

- % de ocupación del personal del taller.
- % de realización de planificación previa de los trabajos.
- Evolución de la productividad del taller.
- % de averías en obra resueltas en menos de 24 horas.
- % de averías en obra que ha sido necesario enviar a los mecánicos algunos repuestos que no se había previsto.
- % de averías en obra que ha sido necesario ir más de una vez para resolver definitivamente la avería.
- Número de averías resueltas por el maquinista con soporte telefónico de CATT.
- Número de averías resueltas por el maquinista con ayuda de CATT, mediante envío de un repuesto o disponiendo de un taller local.

ii. **Almacén y Compras:**

- Número de repuestos y valor de los mismos, sin movimiento en los últimos 6 meses.
- Número de referencias eliminados por estandarización de repuestos.
- Lead time de un pedido (tiempo medio desde que se rellena la solicitud hasta que llega al proveedor).
- Lead time de un pedido de repuestos.
- Número de averías que al realizar la planificación no había los repuestos necesarios en el almacén.
- Número de referencias que se ha cambiado de proveedor por encontrar alternativas más baratas.
- Número de OT's paradas por falta de repuestos.
- % de OT's con incidencias en la planificación por falta de materiales.
- % de errores en la información sobre ubicación de repuestos.
- % de repuestos en los que no se utiliza etiqueta con c.d.b.
- Lead time de sacar un repuesto del almacén.

iii. **Patio:**

- % de superficie ocupada de cada partícipe.
- Número de referencias, equipos auxiliares, equipos de perforación, componentes, etc. que dispone cada partícipe.
- Valor de los materiales de cada partícipe del punto anterior.
- Tiempo medio empleado en preparar un pedido para una obra.
- % de pedidos de material de obra sin incidencias en cuanto al contenido de materiales.

- % de pedidos de materiales de obra en los que se utiliza la plantilla para realizar el listado de necesidades por parte del partícipe.
- Evolución de las horas empleadas para preparar un pedido de material de obra en el patio para cada partícipe.
- % de utilización de las grúas en el patio.

b. Externos u Operativos:

- Horas de avería en obra de cada partícipe y por máquina.
- Coste de parada por avería por partícipe y por máquina.
- Horas de correctivo frente a preventivo.
- Horas de avería en obra por partícipe y máquina, en relación con las horas de mantenimiento preventivo.
- Nº de máquinas por partícipe en los que se aplica regular y puntualmente el mantenimiento preventivo.
- Nº de máquinas por partícipe en las que se aplica alguna técnica de mantenimiento predictivo.
- Nº de OT's y nº de horas por OT y por partícipe.
- Evolución de la productividad en los talleres de CATT.
- Nº de averías en obra solucionadas por el maquinista.
- Nº de averías en obra solucionadas en 24 horas.
- Tiempo medio de duración de las averías de obra por partícipe y máquina.
- Coste de patio por partícipe.
- Coste de los talleres por partícipe.

4. **Reporting:** En este apartado se debe poder configurar cualquier tipo de informes que necesitemos en CATT y que queramos dar a los partícipes, información que será visual en pantalla y con posibilidad de salida en Excel y en la que habrá información numérica e información gráfica. Se adjunta en los anexos un ejemplo de informe que se envía a alguna de las empresas.

5. **Configuración del programa:** la oferta debe incluir una explicación de los distintos módulos, bases de datos y herramientas que utiliza y su interacción entre ellos, cómo a partir de esa información se planifica una OT, cómo se configura y se lanza un pedido de reaprovisionamiento de un repuesto, cómo se puede modificar la cola de OT's adelantando una, sacando fuera trabajos, etc.

PARTE DE CONTROL DE AVERIAS:

PARTE DE CONTROL DE AVERIAS						
MÁQUINA - EQUIPO:						
NÚMERO:						
OBRA:				EXPEDIENTE:		
MAQUINISTA:				Nº ALBARAN REPARACION:		
FECHA AVERÍA: / /						
TIPO DE OBRA Y DIÁMETRO/ESPEOR CUCHARA:				HORAS MÁQUINA:		
REPARACIONES						
	AVERIA	H.REPARACIÓN	H.AVERIA	PIEZAS SUSTITUIDAS	Nº OT	IMPORTE
Tren de rodaje:						
Maquina Base:						
Motor:						
Bombas Hidraulicas:						
Cabeza de rotación:						
Kelly:						
Cables:						
Herramientas:						
LT-3:						
Cabrestantes:						
S.Eléctrico:						
Pluma:						
Otros:						
PLANTA DE LODOS						
	AVERIA	H.REPARACIÓN	H.AVERIA	PIEZAS SUSTITUIDAS	Nº OT	IMPORTE
Desarenador:						
Mezcladora:						
Bomba Horizontal:						
Bomba Selwood:						
Cuadro eléctrico:						
Otros:						
HERRAMIENTAS AUXILIARES						
	AVERIA	ROBO	REPOSICIÓN	Nº OT	IMPORTE	
Equipo de oxicrote:						
Grupo de soldar:						
Pistola eléctrica:						
Radial:						
Cuchara:						
Extractor:						
Otros:						
VALORACIÓN DE LAS REPARACIONES REALIZADAS						
NOMBRE MECÁNICO	FECHA ACTUACIÓN	VALORACIÓN				
		EXCELENTE	CORRECTA	MALA		
		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
OBSERVACIONES Y AVERÍAS PENDIENTES:						
ENCARGADO:		RESP.PLANTA LODOS:		MAQUINISTA:		
(Nombre y Firma)		(Nombre y Firma)		(Nombre y Firma)		

PARTES MECÁNICAS DE MANTENIMIENTO DE UNA DE LAS EMPRESAS:

PLAN DE INSPECCIÓN Y MANTENIMIENTO			
MAQUINA: HÜTTE HBR 705 D	NUMERO: 2	HORAS: 9536	HORA: 17h
MAQUINISTA:	OBRA: FUENTES (GUENCA)	FECHA: 27-8-08	
TUNEL DE CUBILLO K-06672-J			

SERVICIO ESPECIAL DE 250 HORAS		
OPERACIÓN	USAR	
Limpiar taniz del combustible (motor diesel)		X
Revisar la función de la instalación de alarma (motor diesel)		X
Revisar las uniones atornilladas (válvulas hidráulicas)		X
Limpiar el bloque refrigerante y las lametas de aire (refrigerador del aceite hidráulico)		X
Cambio de aceite de motor	15 W40	X
Cambio filtro aceite motor (1 Ud.)	W-11102/1	X
Revisar el nivel del líquido (batería)		X
Cambio de aceite de caja transfer	SAE 90	X
Revisar los tornillos de sujeción de motor		X
Revisar los tornillos de sujeción de caja transfer		X
Cambiar el filtro de gasoil (1 Ud.)	WK-731	X

MOTOR DEUTZ BF6L-913-C N° 21006418

OBSERVACIONES: OTROS CONTROLES REALIZADOS:

Revisar estado de las correas
 " y engrasar articulaciones, martillo etc, etc
 " y comprobar funcionamiento de la turbina del motor Deutz
 Cambiar filtros aire motor 1° y seguridad
 " " hidráulico circuito retorno y pilotaje

TRABAJOS PENDIENTES:

Poco aceite por aspirado manivela sálida bomba hidráulica
 Falta cerrar tapa central carrocería
 Soporte centrador corredera roto
 Vástago cilindro elevación requiriendo soldado
 Soporte sujeción guía tubo perforación suelta
 Colocar soporte filtro hidráulico en su lugar correspondiente
 Baterías sueltas, las baterías no encajan en el marco de fijación
 Cambiar manivelas tracción circuito de gas-oil
 Falta tornillo sujeción caja transferencia + repasar el resto
 Manómetro indicador de gas-oil no funciona
 Falta instalación eléctrica en el circuito calentador motor Deutz
 Fijar carcasa filtro aire motor sobre la carrocería
 Falta cambiar " hidráulico Ref: AC9650 FKN 26HRR47E

Encargado:
 (Nombre y Apellidos)

80%

Firma:

INFORME DE SALIDA DE MATERIAL:

Equipo:	Comacchio 1200
Número interno:	KT-72
Horas:	7112
Fecha de entrada:	12/11/2008
Expte. procedencia:	K08-423-K
Último responsable:	Juan Miguel Pérez

LISTADO DE DEFICIENCIAS DETECTADAS POR MAQUINISTA

DESCRIPCIÓN	REALIZADO		FECHA
	SI	NO	
Cambio de empaquetadura de botella de apoyo del mástil foto 1			
Cambio de empaquetadura de las botellas de el brazo central foto 2			
Poner tórica plana de el freno reductora que cuando se cambio en obra sólo teníamos la redonda			
Cambio de cables de subida de mordaza superior foto 3			
Cambio de rodamientos y ejes de la mesa foto 4			
Revisar fugas de hidraulico en el mandril foto 5			
Reparación de la celosía foto 6			
Orugas destensadas			
Cambio de filtros hidráulicos			
Revisar fuga de hidraulico en un distribuidor			
Cambio de el manguito de el Radiador			
Mirar el joystick por que cuando se acciona el mando de las orugas se queda sin batería .			
Se activa automáticamente la rotación, lo mismo pasa con el mando con cable.			
Revisar el cargador de baterías de el mando inalámbrico que tiene la máquina			
Sanear Sistema Eléctrico (cables oxidados y malas conexiones)			
Comprobar instalación del final de carrera de la celosia			

OBSERVACIONES:



DESCRIPCIÓN	REALIZADO		FECHA
	SI	NO	
Nivel de concentración del anticongelante es bajo -10 °C			
Limpiar exteriormente el radiador y el modulo de rotación			
Corregir fugas de gas-oil y aceite en motor Deutz			
Cambiar aceite a reductoras de traslación			
Revisar todos los engrasadores (Algunos están taponados)			
Faltan tornillos en guía desplazable en cabeza de rotación			
Pendiente circuito de traslación, a veces se acciona sin accionar joystick			
Pierde aceite por poro en depósito aceite hidráulico			

--

CHEQUEOS IMPRESCINDIBLES PARA LA SALIDA A OBRA:

CHEQUEOS IMPRESCINDIBLES PARA LA SALIDA A OBRA	
Marca:	Nº Serie:
Modelo:	Horas:
MOTOR DIESEL	
<input type="checkbox"/>	Comprobar nivel aceite de motor
<input type="checkbox"/>	Comprobar filtro de aire
<input type="checkbox"/>	Comprobar seguridades y paradas de emergencia
<input type="checkbox"/>	Comprobar Nivel de concentración de anticongelante
<input type="checkbox"/>	Comprobar nivel de caja de grupo de bombas hidráulicas
MARTILLO Y CORREDERA	
<input type="checkbox"/>	Comprobar engrase de martillo
<input type="checkbox"/>	Comprobar engrase de roldana
<input type="checkbox"/>	Comprobar engrase de cadena
<input type="checkbox"/>	Comprobar engrase de cable avanzador
<input type="checkbox"/>	Comprobar engrase deslizadera cuna martillo
<input type="checkbox"/>	Comprobar funcionamiento y buen estado del conjunto de mordazas
<input type="checkbox"/>	Comprobar funcionamiento de la rotación en todas sus velocidades
<input type="checkbox"/>	Comprobar correcto funcionamiento de la percusión
<input type="checkbox"/>	Comprobar correcto funcionamiento del avance
<input type="checkbox"/>	Comprobar correcto funcionamiento del retroceso
<input type="checkbox"/>	Comprobar correcto funcionamiento del cabestrante
BASTIDOR, BRAZOS Y TRASLACIÓN	
<input type="checkbox"/>	Comprobar nivel deposito gas-oil
<input type="checkbox"/>	Comprobar nivel deposito aceite hidráulico
<input type="checkbox"/>	Comprobar funcionamiento del ventilador del radiador
<input type="checkbox"/>	Comprobar engrase en todas las articulaciones
<input type="checkbox"/>	Comprobar movimiento de todos los brazos y asegurarse de que se mantienen
<input type="checkbox"/>	Comprobar movimiento de orugas
<input type="checkbox"/>	Comprobar tensado de orugas
<input type="checkbox"/>	Comprobar limpieza de los radiadores
<input type="checkbox"/>	Comprobar holguras de todas las articulaciones
COMPRESOR Y ENGRASE	
<input type="checkbox"/>	Comprobar nivel de aceite de compresor
<input type="checkbox"/>	Comprobar nivel de aceite de engrase martillo
<input type="checkbox"/>	Comprobar funcionamiento del compresor, engrase martillo y engrase barrenas
<input type="checkbox"/>	Comprobar equipo de llenado cilindro engrase barrenas
<input type="checkbox"/>	Comprobar filtro de aire compresor
<input type="checkbox"/>	Comprobar funcionamiento del captador de polvo
VARIOS	
<input type="checkbox"/>	Comprobar limpieza general de la maquina
<input type="checkbox"/>	Comprobar estado de la pintura y pegatinas kellerterra

PROPUESTAS DE LOS DISTRIBUIDORES:

1. Propuesta de los distribuidores de GIM:

GIM trabaja con SQL Server, Oracle y otros. En caso de ser requerida por el Grupo, se proporcionará e instalará una licencia de SQL Server 2005 Express.

GIM trabaja en las plataformas Web, Windows, Tablet PC, PDA, Windows Mobile en modo concurrente.

En cuanto a licencias, se estima inicialmente:

- 7 operarios que introduzcan en el sistema datos de sus trabajos desde obra, vía tableta digitalizadora o similar.
- 4 personas entre mandos y administración, que deban acceder al sistema o recibir vía red, información del mismo (preferiblemente por la intranet de la empresa).

Con respecto a los programas que se implantarían en una primera fase, serían:

1. Gestión de fichaje de los operarios, con indicación de horas de presencia, horas cargadas a cada OT, horas trabajadas y horas no trabajadas, etc.

2. Gestión del almacén de repuestos: inventario, valor, localización de cada repuesto, stock mínimo, cantidad a pedir, propuesta de los pedidos de reposición a realizar, etc.

3. Gestión de OT's de cada empresa partícipe (son 7): estado, quién la ha abierto si se ha modificado el alcance o el plazo, las horas cargadas, quién ha cargado horas a dicha OT, si en la última semana no ha habido cargos, fecha prevista de terminación, etc.

4. Gestión de los mantenimientos preventivos de las máquinas.

Contendrá las pautas de cada tipo de mantenimiento, si se ha hecho, a qué número de horas, quién lo ha hecho, incidencias encontradas, etc.

- Servicios:

A) Instalación (Incluida en el precio de la licencia) del programa de gestión informatizada del mantenimiento GIM v 8.0 en las dependencias del Grupo, realizada por unos de nuestros técnicos.

B) Formación: Se impartirán un mínimo de 26 horas de formación técnica en las dependencias de Terratest para la utilización del programa.

C) Servicio de hot-Line, telemantenimiento, actualización a nuevas versiones y servicio de personalización (de renovaciones anuales y no incluidas en el precio de la licencia).

Hot-Line y Telemantenimiento: El responsable de GIM dispondrá de un servicio hot-line telefónico y vía email y telemantenimiento mediante control remoto para consultas relacionadas con GIM. La prestación de este servicio es de 9:00 a 19 horas, de lunes a viernes, excepto en días festivos.

Actualización a nuevas versiones: También se incluye la actualización a las nuevas versiones de GIM que vayan apareciendo en el mercado.

Personalización: Confección o modificación de informes de acuerdo al análisis que se lleve a cabo y los requerimientos específicos que necesite el Grupo.

D) Ingeniero consultor: Si el cliente desea la implantación del sistema llaves en mano, ofrecemos los servicios in situ de uno de nuestros ingenieros, que le ayudará a realizar las tareas de parametrización y puesta en servicio de GIM v8.0.

Además de la información y ayuda que dispone el mismo programa GIM, se entrega junto con cada licencia un Manual de Usuario.

2. Propuesta de los distribuidores de BaaN:

Recomendamos acometer el proyecto en dos fases, para ello hemos recomendado acometer inicialmente las fases de mayor "importancia" de cara a estructurar óptimamente el entorno operativo de mantenimiento, consiguiendo así la recopilación, desde el inicio del uso del sistema, de toda la información requerida y presente en los ficheros suministrados (Calendarios, recursos, Intervenciones, consumos, horas, costes, maquinaria intervenida, técnicos, herramientas, tiempos teóricos y tiempos reales, reglas estadísticas, repuestos.).

Uno de los puntos de impacto que hemos determinado del análisis de la información facilitada por el Grupo es el elevado número de documentos por máquina que se gestionan manualmente, además del volumen de información incluida en los mismos, con ello prevemos una carga operativa no existente actualmente y que se corresponde a la transcripción de dicha información, tomada a mano a pie de obra, al sistema de mantenimiento.

Creemos aconsejable, porque entendemos que en una primera fase podría representar en conjunto un coste superior al previsto por el Grupo, acometer en una segunda fase la incorporación de sistemas de "Mobile services" con el fin de evitar la transcripción de información recopilada manualmente y gestionar así, en una siguiente fase, toda la información operativa en tiempo real.

Objetivos primera fase:

1. Activación del módulo de servicios de Baan IV
 - Personalización de las reglas de OT existentes en el Grupo, estableciendo estas mismas como reglas de imputación de los costes correspondientes.
2. Definición del modelo de compras de servicio siguiendo el esquema de solicitudes que se nos habéis facilitado.
3. Definición del modelo de aprovisionamientos, transferencias de stock, siguiendo el esquema de solicitudes que nos habéis facilitado.
 - Consideración de parametrización de planificación de compra (MRP, SIC).
4. Introducción inicial y gestión, estructurada en el sistema, del parque de maquinaria.

5. Incorporación de los planes de mantenimiento para que el sistema facilite la planificación detallada del mantenimiento preventivo.

- Facilitaremos la metodología y plantillas para recopilar dicha información.

6. Desarrollo de interfaces con Ms-Project con el fin de facilitar la planificación preventiva integrándola con la correctiva.

7. Gestión de los mantenimientos correctivos

- Registro manual de intervenciones asociadas a OT.

- Inclusión de costes de horas, desplazamiento y consumos de materiales.

8. Consideración de la gestión de OT's actual y consiguientemente la imputación interna de costes siguiendo el esquema transmitido a proyectos-compañía correspondiente (esto se realizará de modo transparente al usuario final).

Objetivos segunda fase:

1. Integración de sistema Mobile Services

2. Generación de formatos de entrada de datos, por pantalla PDA, de intervención, a pie de obra, por cada tipo de maquinaria.

Posible evolución futura en una tercera fase:

1. Evolución funcional a última versión de Baan services (Ln)

- Inclusión automática de documentación asociada a cada intervención

- Mejoras funcionales operativas de usuario

- Mobile services – integrado

Dentro de nuestra probada metodología de implantación, en la fase inicial del proyecto, diseñaríamos y os presentaríamos un modelo de trabajo, para vuestra área, basado en toda la información y reglas suministradas, dicho modelo se presentará y será revisado y validado por vosotros en una fase preliminar del proyecto. En una segunda fase tras haber desarrollado las personalizaciones requeridas, sobre el sistema, os presentaríamos un segundo modelo con todo integrado para vuestra aprobación, en tal caso será el proceso que finalmente los usuarios clave aprobarán para la explotación final del sistema."

DEFINICIÓN Y DESCRIPCIÓN DE SERVICIOS DE MANTENIMIENTO:

1. Tipos de mantenimiento:

Desde el punto de vista de mantenimiento se diferencian claramente tres tipos de mantenimientos. Además de dichos servicios, el parque puede facilitar otra serie de tareas en relación siempre con ayudar a los partícipes a conseguir la ausencia de problemas, reducción de costes de mantenimiento, seguridad en el funcionamiento de las máquinas y ausencia de cualquier tipo de incidencias:

1.1 Mantenimiento Correctivo:

Es la actividad de mantenimiento que se realiza en una máquina cuando esta pierde su funcionalidad, ya sea porque la máquina se pare o no pueda continuar trabajando, o incluso porque la máquina no pueda conseguir trabajar con las prestaciones establecidas o prefijadas. También se tiene que realizar cuando la máquina pierde alguno de sus sistemas de seguridad imprescindibles para su funcionamiento en condiciones seguras.

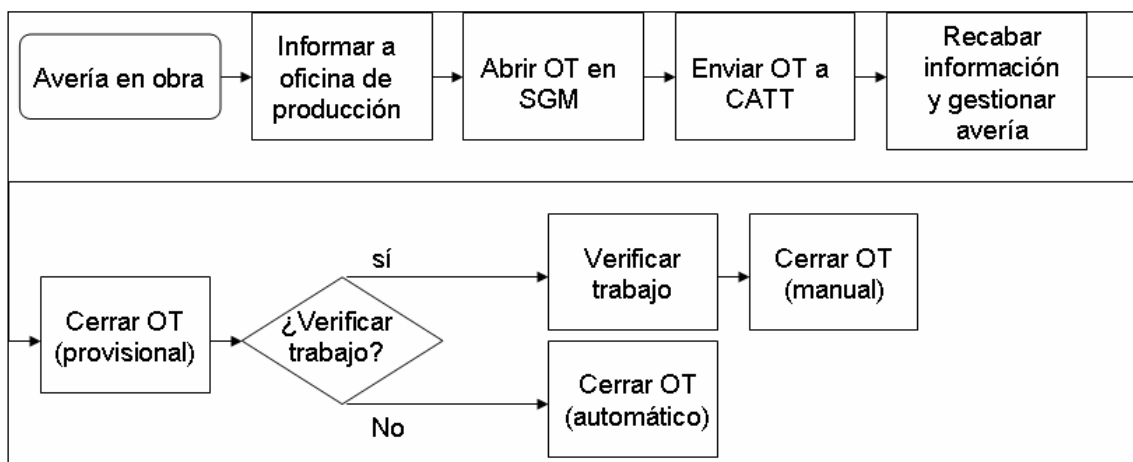


Figura 6.1. Esquema Mantenimiento correctivo

Es decir, la máquina requiere de alguna intervención, sea grande o pequeña, antes de seguir operando con ella. El mantenimiento correctivo está detallado en el nuevo y aprobado procedimiento de Gestión de OT's, por lo que solo se comentarán los aspectos relevantes o novedosos.

1.2. Mantenimiento Preventivo:

Es la actividad de mantenimiento que se realiza periódicamente o como consecuencia de haberse detectado un deterioro que hace

temer que su progresión pueda llegar a producir una avería. Su objetivo es minimizar las averías imprevistas, lo que obliga a prever unos tiempos de parada con la frecuencia que se determine y en la duración asignada en función del tipo de intervención. En este caso, aunque se hayan cumplido las horas para la revisión, la máquina puede seguir trabajando, aunque, eso si, si las pautas de frecuencia y de tareas a realizar en cada revisión están bien establecidas, se corre el riesgo de tener una avería o provocar el deterioro irreversible de algún elemento de la máquina.

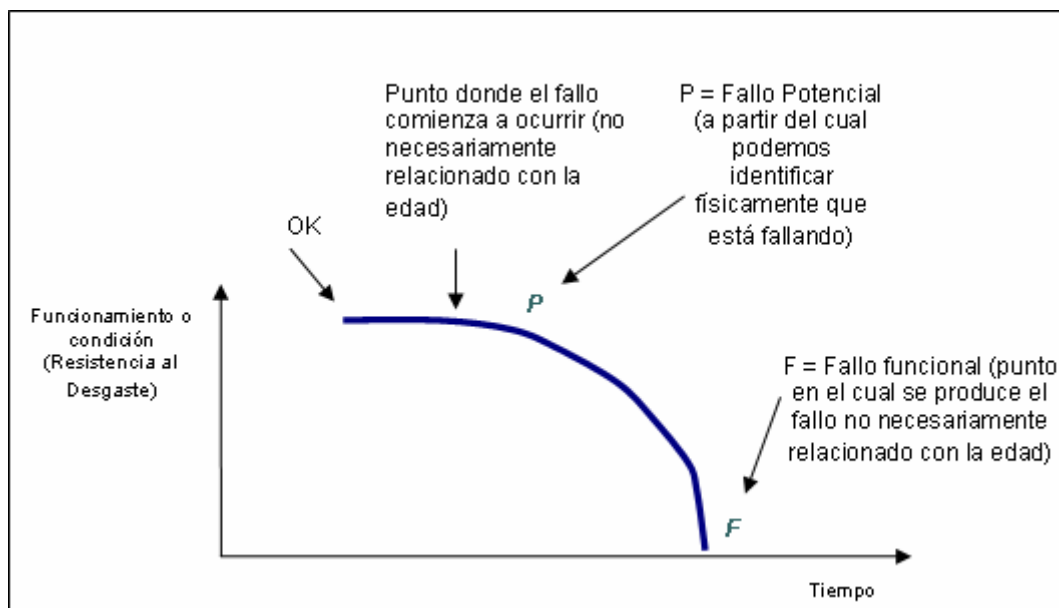


Figura 6.2. Curva P-F

Las frecuencias de intervención y los trabajos a realizar en las mismas, una vez definidos deben de supervisarse e introducir en una base de datos los resultados de cada intervención para hacer un seguimiento de su cumplimiento y del resultado de las intervenciones y de esta forma optimizar tanto las frecuencias como el contenido de las tareas de las mismas.

1.3. Mantenimiento Predictivo:

Es la realización de una serie de tareas de mantenimiento que se deben realizar para evitar hacer sustituciones periódicas de elementos de componentes o elementos que no están dañados y que por lo tanto se podría prolongar su periodo de reemplazamiento. El mantenimiento preventivo reduce las averías pero en ocasiones introduce el riesgo de la *mortandad infantil* (se producen poco tiempo después de la puesta en funcionamiento y se deben a defectos de concepción o de fabricación, o incluso de reparación) de algunos componentes.

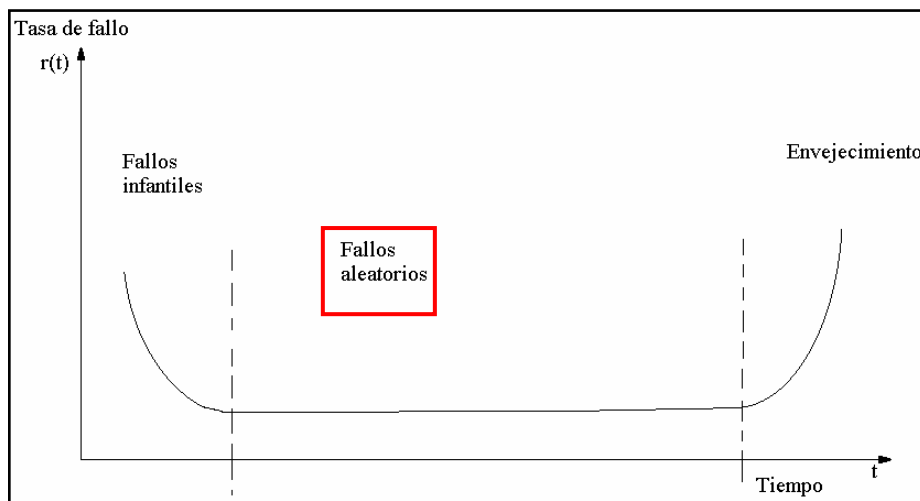


Figura 6.3. Curva clásica.

Probabilidad o tasa de fallo con la edad del equipo.

Las técnicas de mantenimiento predictivo a realizar por CATT y que se pretende ofrecer a los partícipes en una primera fase, son:

- Análisis de aceites: se debe realizar por CEPESA, ya que es el proveedor a nivel nacional de los aceites de lubricación e hidráulico. Con los análisis se pretende determinar varias cosas:
 - La pérdida de las características de lubricación del aceite
 - La contaminación por agua u otros elementos.
 - El contenido en virutas o trazas de acero, lo que supone que hay dos elementos o piezas metálicas en rozamiento y que se están deteriorando con dicha fricción.
 - Esta técnica de los análisis de aceites, es solamente una de las herramientas de todo un desarrollo realizado para evitar el deterioro por fricción y que analiza las causas, soluciones y medios para evitar o minimizar los mismos y que se llama TRIBOLOGÍA.
- Análisis de vibraciones: Este tipo de análisis se basa en la medición de determinadas magnitudes físicas, como son la amplitud de la vibración en determinadas bandas de frecuencias y la energía de esta vibración. El seguimiento en el tiempo de estas mediciones nos permite determinar el deterioro producido en un determinado elemento y el tiempo disponible antes de que se colapse. Este tipo de análisis es muy adecuado para motores tanto térmicos como eléctricos, reductoras, ejes, compresores, bombas, rodamientos y en general todo tipo de máquinas giratorias.

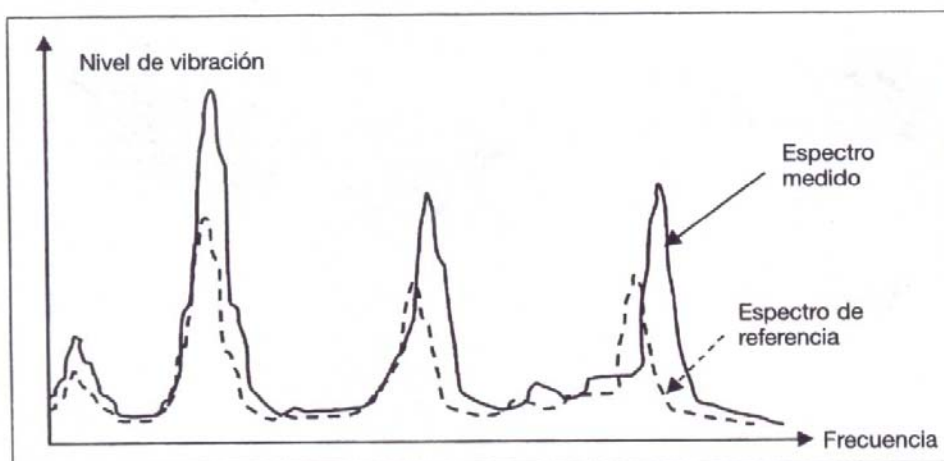


Figura 6.4. Niveles de vibración

- Análisis de termografía: hay aplicaciones típicas de termografía, como son el control del estado del aislamiento de tanques con un importante gradiente de temperatura entre el producto almacenado y el ambiente. Obviamente no es estas ideas en las que estamos pensando. Hay otras muchas posibilidades de aplicación, bastante menos conocida, como en los cuadros eléctricos y cableados que con la termografía podemos ver distintos aspectos: la desigual temperatura de los distintos conductores de una misma manguera, lo que indica la próxima aparición de un problema y el casi seguro problema de un desequilibrio de consumo entre las fases. Derivaciones a tierra, temperaturas excesivas en puntos determinados, calentamientos, problemas de capacidad de conductores, etc.

1.4. Otros tipos de intervención en las máquinas:

Además hay otros tipos de intervenciones, que aunque no sean exactamente de mantenimiento, pero que se pueden solicitar o que puede necesitar realizar alguno de los partícipes y que tienen relación con el estado y el rendimiento o funcionamiento de las máquinas:

- Modificaciones de las máquinas: las máquinas tienen posibilidad de modificarse para ampliar sus capacidades, mejorar sus prestaciones, solucionar un problema endémico que le impide un correcto funcionamiento, etc., lo cual suele necesitar no solo realizarse en el taller, sino que además requerirán la ayuda de la oficina técnica, que diseñe y documente las reformas a realizar en la máquina, croquice las nuevas piezas que se necesiten fabricar, etc y que requerirán poner en marcha procesos similares a los utilizados en el caso de reparaciones o revisiones.

- Cambios de equipos o de la preparación de la máquina: las máquinas tienen la posibilidad de soportar diversos equipos que con su cambio permite al usuario modificar los trabajos a realizar, bien sea en cuanto al diámetro o al ancho de la cimentación a ejecutar o en otros aspectos de su trabajo. Estos cambios deben estar perfectamente documentados, así como los equipos a desmontar y a montar, debiendo estar perfectamente identificados y disponer de las instrucciones del fabricante de desmontaje, montaje y regulación/ajuste.
- Actualización de alguno de los componentes: los fabricantes de componentes, de mecanismos y de equipos van realizando modificaciones en los mismos, lo que hace que determinados componentes o incluso equipos deban ser actualizados, cambiados o modificados, lo que hace necesario que en algunas ocasiones las máquinas deban ir al parque de maquinaria para realizarles dichas actualizaciones.

2. Modo de desarrollar los servicios:

El mantenimiento correctivo se desarrollará o aplicará fundamentalmente en obra. A pesar de lo cual, también es posible realizar mantenimiento correctivo en los talleres de CATT, aunque solamente se debería producir en las siguientes circunstancias:

2.1. Reparaciones de Máquinas que deben hacerse en CATT:

Los casos normales en los que se repara una máquina en el taller y no en obra, puede ser distinto, pero en la mayoría de las ocasiones será debido a una de las circunstancias que describimos a continuación. En todos los casos la reparación debe hacerse mediante la apertura de una OT, describiendo los trabajos que se solicita a CATT realizar en la máquina. El proceso de reparación seguirá los procedimientos principalmente de Gestión de OT's y de Gestión de Materiales.

- Grandes reparaciones: Es la situación en que se considere más conveniente reparar una máquina en el taller y no en la obra.
- Reparaciones que requieran recursos especiales que son difíciles disponer en obra: Aunque no se pueda considerar como una gran reparación.
- Reparaciones de larga duración: La situación en que aunque la reparación pueda ser corta, la parada que sufrirá la máquina por circunstancias distintas a la mera intervención en sí, puede ser larga y no pueda permanecer en obra.
- Máquina sin carga de trabajo, que se aprovecha para hacerle una revisión completa en CATT.

2.2. Reparaciones de máquinas que se deben realizar en obra:

Si se dan las circunstancias enumeradas anteriormente para que se realice la operación de reparación en obra, la forma de proceder se describirá en el apartado siguiente.



- **Revisiones de Mantenimiento Preventivo:** Este tipo de intervenciones, en principio deben realizarse en Obra, salvo que coincida con una Reparación que se deba realizar en el Taller de CATT. En este caso, las tareas de preventivo se harán en CATT. En un principio se considera necesario que CATT realice todas las revisiones periódicas cada 500 hrs, es decir, las revisiones de 500, 1.000 y 2.000 horas. EN el caso específico de máquinas Liebherr la revisión de 2.000 hrs se realizarán por el fabricante de la máquina (caso de máquinas Liebherr). Las revisiones de diarias, de 50 hrs y 250 hrs se realizarán por el maquinista. La información y el control de las revisiones en todos los casos debe ser realizado gestionado y seguidos desde CATT en el SGM. No obstante cada Partícipe puede ampliar el servicio de CATT a revisiones cada 250 hrs si lo considera necesario.

- **Revisiones de Mantenimiento Predictivo:**

- Análisis de aceites: Este tipo de mantenimiento debe ser igual de obligatorio que las revisiones periódicas, ya que su coste es insignificante y los posibles beneficios, enormes.

El procedimiento es el siguiente:

CATT hará llegar una caja al Dpto. de Producción con un sobre para cada máquina que contiene dos pequeños botes etiquetados con un número distinto cada uno y dos bolsitas de plástico. Cada sobre va etiquetado con la máquina a la que se ha de hacer llegar.

El Dpto. de Producción distribuye dichos sobres a las obras de forma simultánea para que, de manera más o menos simultánea realicen en obra la toma de muestras según con el procedimiento de toma de muestras siguiente:

"Las muestras se tomarán del aceite motor (en los botes marcados con una "M") y de aceite hidráulico (en los botes marcados con "H"). Para tomar la muestra, la máquina debe haber estado trabajando durante más de una hora y se tomará nada más detener el equipo. Antes de coger aceite para los botecitos se dejará "correr" el chorro hasta que haya salido al menos $\frac{1}{2}$ l de aceite".

Una vez tomada la muestra, han de asegurarse que el bote queda correctamente cerrado y se meterá cada bote en una de las bolsitas

La obra hará llegar al Dpto. de Producción los sobres con los botes, que los enviará a CATT en una sola vez por valija y una vez estén todos CATT se enviarán las muestras al laboratorio y éste mandará los resultados a CATT en 2 ó 3 días.

Es conveniente que se anote quién hace la toma de la muestras, de modo que si se detecta cualquier incidencia por haberse hecho mal, se le pueda explicar particularmente cómo hacerlo.

Este ciclo debe repetirse cada 6 meses.

CATT, controlará y procesará los informes de los análisis y la realización de un informe técnico por máquina y partícipe, así como la introducción de todos los resultados en el SGM para control de la evolución, seguimiento e información a los partícipes.

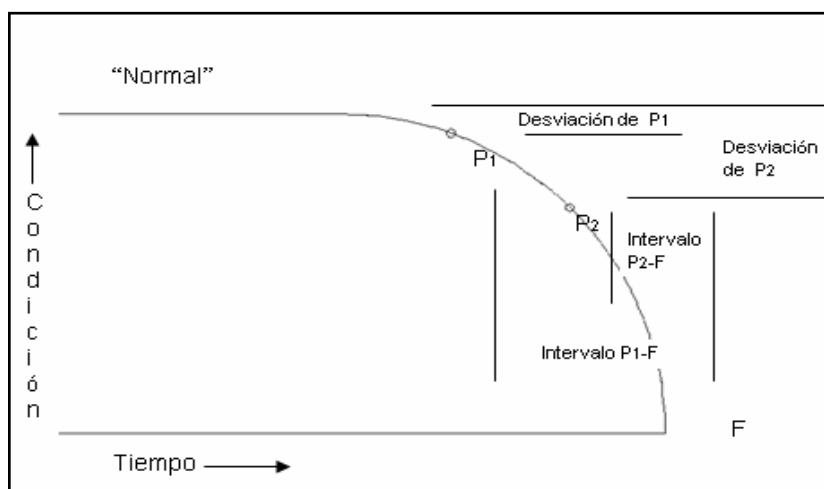


Figura 6.5. Intervalos P-F y desviaciones partiendo de condiciones "normales"

- Predictivo de análisis de vibraciones: este tipo de análisis se subcontrataría, previa aprobación por cada Partícipe, con una empresa especializada que se encargue del análisis de cada máquina, proponer los elementos y frecuencias a controlar por máquina, equipo, base de datos específica a desarrollar para este trabajo y coste de realización, para que de esta manera, cada partícipe analice la conveniencia, interés u oportunidad de su aplicación. La idea de subcontratar este trabajo, es debido a que exige un equipo caro, a veces con distintos equipos de sensores, un personal específica y cuidadosamente entrenado en el manejo de este equipo y el desarrollo de una base de datos muy especial “ad hoc”.

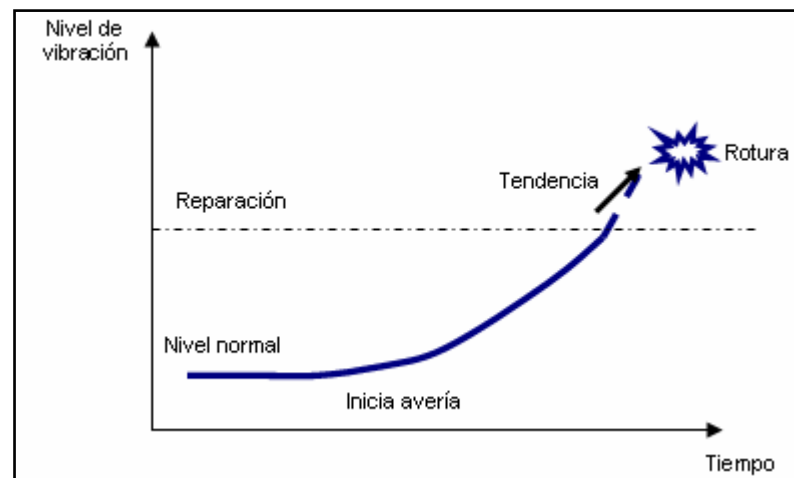


Figura 6.6. Vibración hasta rotura.

- Predictivo de termografía infrarroja: en este caso, parece más fácil su aplicación, aunque igualmente se va a buscar una oferta para externalizar esta tarea y conocer el coste que puede tener por máquina.

3. Procesos y procedimientos de trabajo:

Para todos los trabajos en donde se requiera la intervención de CATT, el documento base es la OT, que es el documento que llega a CATT y le sirve para conocer lo que pasa en una máquina y le sirve a su vez al parque de maquinaria de autorización para poder iniciar las gestiones de intervención en la máquina. En el procedimiento de Gestión de Ots aprobado, y pendiente de poner en marcha a falta de tener operativo el SSGM, se describe el proceso de gestión una vez emitida la solicitud por la persona designada en cada uno de los partícipes.

Para aceptar una OT en el taller (sea de preventivo, correctivo, modificación, etc.), se necesita que la solicitud tenga rellenos todos sus campos.

- I. Una vez reparada la avería, con o sin envío de un técnico de CATT a obra, se rellenará el parte de avería por parte del personal de Obra (maquinista).
- II. La información de la OT y del parte de avería se procesarán en el sistema de gestión del mantenimiento, tanto para conocer el histórico, como el coste de mantenimiento de la máquina y para optimizar el mantenimiento preventivo.
El parte de avería se procesará por Producción en el SGM y el parte de trabajo se procesará en CATT.
- III. En el caso de intervenciones de cualquier tipo que se deban realizar en CATT, al recibir la OT, se debe esperar a recibir la máquina. A su recepción en el Parque, se revisará la documentación que debe acompañarle:
 - Listado de deficiencias enumeradas por el último responsable de la máquina en obra.
 - Documentación de mantenimiento de la máquina.

A su vez, después de revisar la documentación, en CATT se hará un chequeo exhaustivo de la máquina:

- Reportaje fotográfico.
- Se rellenará el documento "Check list de llegada al Parque".
- Grado de operatividad de la máquina, con el fin de tener un histórico y evaluar coste % operatividad.
- En el caso de existir grandes diferencias entre la OT más el listado de deficiencias del último responsable en obra de la máquina y el check list realizado en CATT, se contactará con el responsable de maquinaria del partícipe y se decidirá el alcance de la intervención. Si esta es ampliada respecto a lo que figura en la OT, se deberá revisar y renegociar la

fecha de entrega de la máquina. Los plazos de reparación en CATT, serán 4:

- Reparación rápida: es el caso de máquinas que deban ser entregadas en un plazo entre 1 y 5 días (menos de una semana).
- Reparación media: cuando debe ser entregada la máquina en un plazo de entre 6 y 15 días (entre una y dos semanas).
- Reparación larga: la reparación superior a 15 días.
- No reparación: cuando se decide no intervenir en la máquina.

Una vez finalizada la reparación de la máquina, deberá procederse a la realización de una serie de pruebas, lo que exige que se realice un "test de pruebas" que dará origen al "Informe de Salida". En este informe se indica si la máquina es apta para volver a obra, o si tiene una reducción en su operatividad. En este último caso deberá evaluarse si es conveniente que en esa situación vuelva a obra.

Con el informe de entrada de la máquina si el estado debido al mantenimiento en Obra es deficiente, se informará a Producción para que tomen las medidas oportunas con el maquinista y responsables de Obra.

IV. Intervenciones o revisiones de mantenimiento preventivo o predictivo: proceso de actuación será el siguiente:

- El responsable de maquinaria del partícipe controlará que los maquinistas hagan sus revisiones periódicas, lo que controlarán a través de los partes de producción que semanalmente envían a la oficina de producción
- En la realización de las planificaciones semanales de producción, deberá tenerse en cuenta las revisiones que debe realizar cada máquina, así como su duración: 2 a 3 horas para las intervenciones de 250 y 750 horas
- Una copia de los partes de revisión debe ir a CATT, que la introducirá en el programa de Gestión de Mantenimiento, así como los comentarios de deficiencias o pequeños problemas que tenga la máquina. Esta información será revisada y posteriormente introducida en el sistema por los jefes técnicos de cada partícipe
- La petición de las intervenciones cada 500 horas deben de partir del responsable de maquinaria del partícipe, quien lo planificará y organizará con el responsable técnico en CATT de su empresa, lanzando una OT de mantenimiento, sabiendo que la fecha que él fije y que previamente habrá acordado con CATT, es fija y quedará bloqueada para dicho fin. El SGM avisará tanto a Producción como a CATT de los mantenimientos pendientes y si caduca el mantenimiento,

CATT fijará la intervención debiendo parar la máquina ese día. CATT se ocupará del repuesto, el utillaje, la documentación técnica y de consensuar con Producción que problemas de los que el maquinista viene denunciando en los partes se pueden resolver en la jornada asignada.

- De los informes de las revisiones que realice en obra CATT, se enviará copia a Producción. En dicho informe aparte de indicar la intervención realizada (revisión y solución de problemas existentes), se dará un escueto informe del estado de la máquina y si se han podido observar deficiencias que es urgente reparar, así como el grado de operatividad de la máquina, con el fin de tener un histórico y evaluar coste % operatividad.

- Las deficiencias vendrán diferenciadas:

- A realizar por el maquinista. Deberá enviar un parte de trabajo específico donde se indique el trabajo realizado (requiere apertura de OT por parte de Producción para enviar CATT los repuestos necesarios).
- A realizar por CATT (requiere apertura de OT por parte de Producción).
- A realizar por CATT urgente (requiere apertura de OT por parte de CATT).

En la visita por parte del mecánico de mantenimiento verificará:

- Si se han realizado la correcciones previstas.
- Si se han realizado los mantenimientos correspondientes en la Obra.

Informando a CATT si hay un incumplimiento, en cuyo caso se informará a Producción para que tomen las medidas oportunas con el maquinista y responsables de Obra.

- En las revisiones de 500 horas y sus múltiplos, deberá permanecer el maquinista ayudando al operario de CATT y al finalizar la intervención, entre los dos harán un pequeño test de funcionamiento o detección de fallos. En lo posible, estos test deberán estar prediseñados, de forma que los operarios se limiten a chequear los puntos que les indique la lista de chequeo.

- En las revisiones de 250 y sus múltiplos que se desee que las realice un equipo de CATT, hay que planificar muy bien estas intervenciones y hay que obligar a cumplirlas a rajatabla, ya que el equipo de CATT no va a una obra a realizar una revisión, sino que se le programará una ruta para optimizar los desplazamientos, con los puntos de parada en cada obra en donde haya una máquina en la que hacer cualquier tipo de revisión. Las rutas en lo posible serán semanales.

- En cuanto al mantenimiento predictivo, debemos de analizar cada situación:

- Análisis de aceites: este tipo de análisis debe ser estándar en todo el grupo, ya que su coste es despreciable, el tiempo empleado es de un minuto escaso (lo que se tarde en llenar un

pequeño bote de plástico con aceite de un cárter) y enviarlo con el resto de la documentación semanal. La frecuencia de aplicación es a definir, aunque parece lógico hacerlo en cada revisión múltiplo de 1000 horas, es decir, cada 6 meses y añadirlo como rutina en dichas revisiones. El resto del trabajo es de CATT y de CEPESA. El resultado será un informe para el partícipe, en donde le indicará si hay normalidad en el análisis o si se encuentra algún tipo incidencia. En este caso CATT informará de las recomendaciones para corregir la situación y la necesidad de una posible intervención.

- o Análisis de vibraciones: La aplicación de este servicio es voluntario y se debe realizar cada 3 meses como máximo, es decir, en cada máquina hay que pensar en unas 4 mediciones al año y en cada máquina se debe pensar en controlar entre 4 a 5 elementos, lo que supone unas 20 mediciones/año y máquina. También es posible hacer una división en función de la edad de las máquinas, de forma que en las máquinas nuevas se comience por una medición cada 6 meses y en las más "maduras", se haga una medición cada 3. El coste de las mediciones y los informes, no es muy alto, pero hay que hacer un desembolso inicial para preparar un croquis de los puntos a medir (para que siempre se mida en el mismo punto) y se prepare una base de datos por máquina y por elemento a controlar y seguir. La medición se realiza con la máquina en marcha, por lo que desde el punto de vista de producción, solo es necesario que estén informados de quien y cuando se va a ir a obra con un equipo de medición de vibraciones.
- o Análisis de termografía infrarroja: este tipo de análisis será igualmente voluntario y se debe fijar con los partícipes que quieran aplicarlo, los elementos a controlar, entre los que deben estar mangueras, conectores y paneles de distribución y fuerza, así como elementos sometidos o roce, como guías deslizantes, elementos telescópicos, sistemas de refrigeración o lubricación (motores, etc). La forma de proceder es parecida a la medición de vibraciones e igualmente los análisis deben hacerse con la máquina en funcionamiento, por lo cual es válido el comentario del punto anterior.

DOCUMENTACIÓN MÁQUINA: JUNTAN HHK9AS

Introducción:

Juntan es un pionero en el campo de los martillos hidráulicos usados para hincar pilotes. Los primeros martillos hidráulicos Junttan fueron contruidos a finales de la década de los 1970. hoy, martillos hidráulicos Junttan funcionan fiablemente en todas las condiciones de uso (en temperaturas de +40 a -30°C), en todas partes del mundo.

Los martillos hidráulicos juntan están concebidos para todo tipo de trabajos de hinca de pilotes; es idóneo para pilotes de hormigón, acero o madera así como para tablestacas metálicas.

La energía y la altura de los golpes son fácilmente ajustables según las características del suelo y el tipo de pilote usado. El martillo podrá emplearse con el sistema hidráulico de una máquina hincadota de pilotes o bien con una unidad hidráulica separada. El martillo se conecta fácilmente a diferentes tipos de sistemas de accionamiento y trabajo. Puede acoplarse a todo tipo de mástiles y usarse también en suspensión libre.

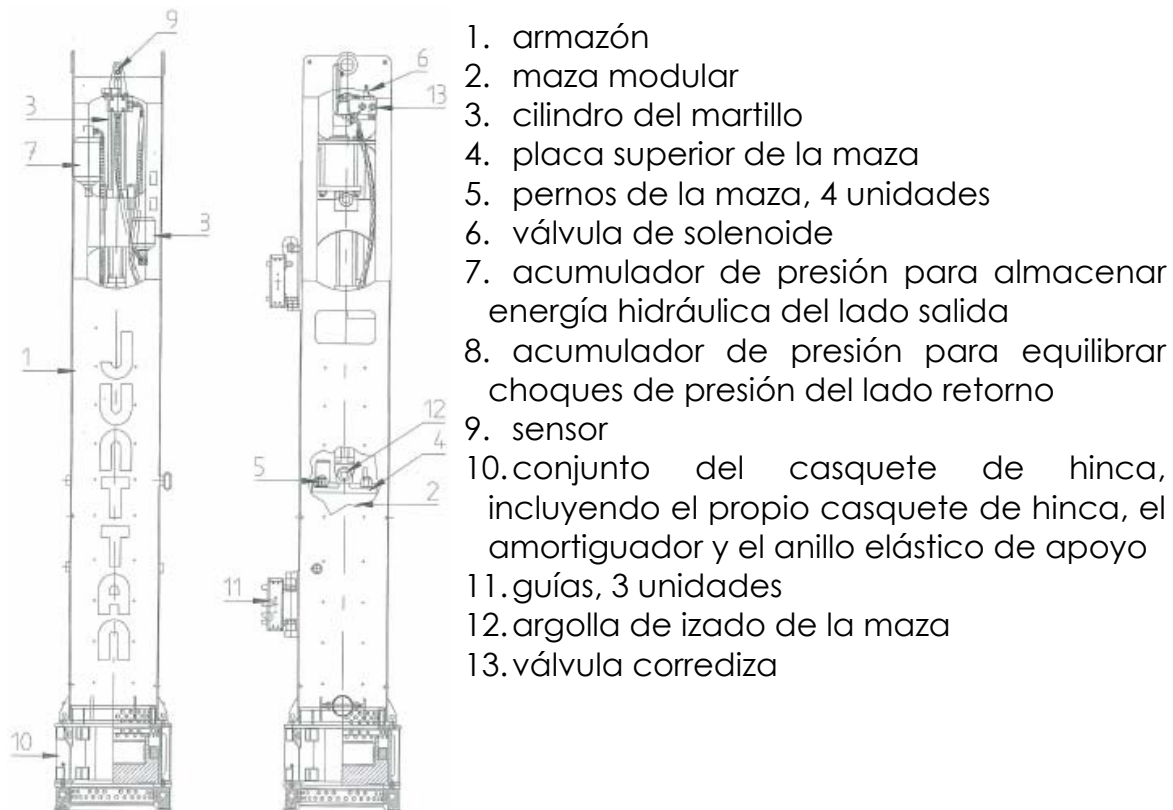
Descripción técnica de martillo HHK:

JUNTAN HHK es un martillo usado para hincar pilotes. Tiene una armazón realizada en acero. A los lados de la parte móvil hay unas almohadillas deslizantes contra la armazón del castillete. La parte móvil consiste en una maza básica a la que pueden añadirse otras adicionales. Las mazas están fijadas entre sí mediante unos pernos, los cuales afianzan también la placa superior al conjunto de la maza o pilón móvil.

Entre la maza y la placa superior hay un cojín de goma para amortiguar la onda de choque inverso. La placa superior está fijada mediante una clavija al vástago del émbolo del martillo. La válvula corrediza que controla el ciclo de movimiento del cilindro del martillo se encuentra instalada en la cabeza superior del cilindro mismo.

La válvula corrediza, a su vez, es controlada mediante un sensor inductivo (conmutador de proximidad). Para proceder al trabajo de hinca de pilotes, el martillo es primero colocado sobre el pilote. La armazón del martillo se mueve hacia abajo hasta que el cojín del casquete de hinca entre en contacto con el anillo elástico de apoyo. En esta posición, el casquete de hinca está en el extremo de su carrera y la maza está apoyada contra el amortiguador.

Los componentes principales del martillo HHK según la siguiente figura son los siguientes:



Datos técnicos:

Identificación general:

Marca comercial registrada	Junttan
Tipo del martillo	HHK9AS
Número de fabricación	2742, 2744, 2759
Nombre y dirección del fabricante	Junttan Oy Leväsentie 2 70700 Kuopio Finlandia
Año de fabricación	2003

Prestaciones máximas teóricas del martillo:

Peso de la maza	9000 kg
Altura de caída máxima	1200 mm
Energía máxima	108 kNm

- **Dimensiones principales del martillo:**

Las dimensiones indicadas se remiten a las figuras anejas

Altura máxima	7380 mm
Anchura máxima	1000 mm
Longitud máxima	1000 mm

- **Estructura:**

Armazón tipo castillete en cuyo interior se encuentra una maza acoplada a un cilindro hidráulico. Casquete de hinca integrado en el conjunto.

- **Cilindro hidráulico:**

Cilindro de izado de la maza

Longitud de carrera	1200 mm
Presión de gtrabajo	240 bar

- **Acumuladores de presión:**

Lado salida (10L)

Tipo	vejiga elástica en caja de acero
Presión del nitrógeno	118 bar/ 20°C

Lado de retorno (4L)

Tipo	vejiga elástica en caja de acero
Presión del nitrógeno	6 bar/ 20°C

La presión de precarga está estampada en los acumuladores.

La presión del acumulador de 10 L debe ser reajustada cada vez que se modifique el peso de la maza.

- **Componentes eléctricos:**

Válvula piloto eléctrico, sensor inductivo de proximidad, 24 VDC.

▪ **Amortiguador y anillo elástico de apoyo:**

Tamaño del amortiguador	600 mm – 200 mm
Anillo elástico de apoyo	878/690 * 100 mm

▪ **Peso (en condiciones de trabajo):**

Maza	9000 kg
Armazón	2600 kg
Casquete de hınca y amortiguador	980 kg
Caja del casquete de hınca	500 kg
guías	500 kg
cilindro	270 kg
Placa superior + fijación maza	160 kg
Acumuladores de presión	50 kg
Peso total HHK9AS	14 200 kg

Control del martillo:

1. Selector de modalidad
2. Ajuste del tiempo de demora
3. Ajuste de la altura de caída
4. Contador de golpes
5. Bomba 1, accesorio extra
6. Bomba 2, accesorio extra
7. Golpe ligero, equipo extra
8. Luz indicadora del selector de modalidad
9. Botón para golpes aislados
10. Conmutador principal

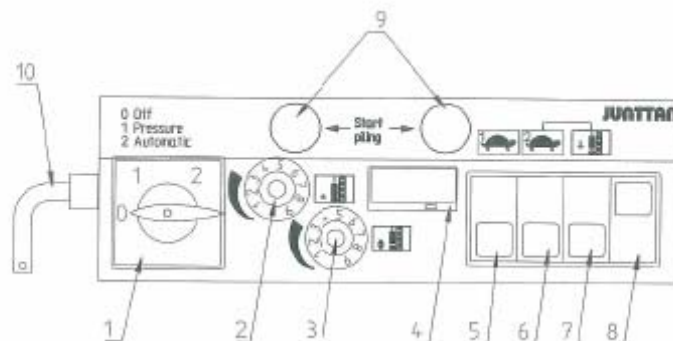


Figura 6.8. Controlador del martillo HHK.

Hinca de pilotes:

1. Seguridad:

1.1. Aspectos de seguridad importantes

Es imprescindible leer y entender completamente todas las instrucciones de seguridad y uso del martillo antes de proceder a su uso, mantenimiento, engrase o reparación.

El incumplimiento y la negligencia pueden acarrear accidentes.

El uso, engrases o reparación incorrectos dan lugar a peligros y pueden causar accidentes con graves daños tanto a personas como al martillo.

Todas las instrucciones, datos técnicos y figuras reflejan vigente en el momento de redactar el presente manual.

2. Presión del martillo:

El manómetro indica la presión de trabajo del martillo. La válvula de carga tiene la función de regular la presión, el ajuste de la misma se efectúa mediante el tornillo que se encuentra en la válvula. La presión está preajustada a 240 bar, la presión influye en la fuerza con la que se eleva la maza. El martillo empieza a presentar vibraciones fuertes si la presión excede el valor estándar (240 bar). En tal caso. Utilice el tornillo de ajuste para reducir la presión.

1.3. Uso del martillo:

Durante el trabajo, el martillo debe estar apoyado en el pilote de modo que el casquete de hinca se encuentre en su posición superior. Asegúrese del libre movimiento del martillo hacia abajo con el pilote a hincar. Si el pilote no llega a proporcionar un apoyo suficiente para el martillo y, por ejemplo, éste queda suspendido por el cable, el uso del martillo está terminantemente prohibido. Cuando el selector de la modalidad (3) es girado a la posición 1 el manómetro (1) indica la presión preajustada al cabo de un momento.

3.1. Hinca de pilotes con control manual

Ponga los controles de la altura de caída (3) y del tiempo de demora (2) en la posición correspondiente al mínimo. Ponga el selector de modalidad (1) en la posición 1. Estos controles se encuentran en la caja de mandos. En la modalidad 1, el trabajo de hinca de pilotes es controlado mediante mandos (9) para golpes aislados; al pulsar los botones, la maza sube, y al soltarlos, la maza se cae produciendo el impacto deseado.

3.2. Hinca de pilotes con control automático

Ponga los controles de la altura de caída (3) y del tiempo de demora (2) en la posición correspondiente al mínimo. Ponga el selector de modalidad (1) en la posición 2. el trabajo de hinca de pilotes es controlado mediante los mandos (9); al pulsar los botones simultaneo empieza la operación automática. La operación automática termina cuando el conmutador es puesto en posición 0.

Ajuste la altura de caída al valor deseado mediante el mando (3). Asegúrese de que el límite superior del cilindro no llegue a topar en la posición superior. Ajuste la velocidad del motor de modo que se mantenga la presión adecuada. Si se desea usar una muy reducida altura de caída, es difícil lograrlo mediante el control de la altura de caída. Es mejor reducir la velocidad del motor. El volumen de flujo de la bomba (5) puede ajustarse al mínimo para lograr una reducida altura de caída de la maza.

En las condiciones normales. No será necesario tocar el control del tiempo de demora; éste se mantendrá en el mínimo, y se usará sólo cuando el pilote dé con una piedra o roca o bien cuando la penetración del pilote se hace difícil y el martillo empieza a dar rebotes después de cada golpe. En tal caso, aumente el tiempo de demora para impedir el efecto de los rebotes durante el izado de la maza. Si el izado es iniciado durante el rebote, el equipo puede sufrir daños.

1.4. Levantamiento del martillo:

Para levantar el martillo, utilice siempre los grilletes provistos con el equipo. Fije las cadenas a los 4 grilletes y levante el martillo, prestando debida atención a su gran tamaño y peso.

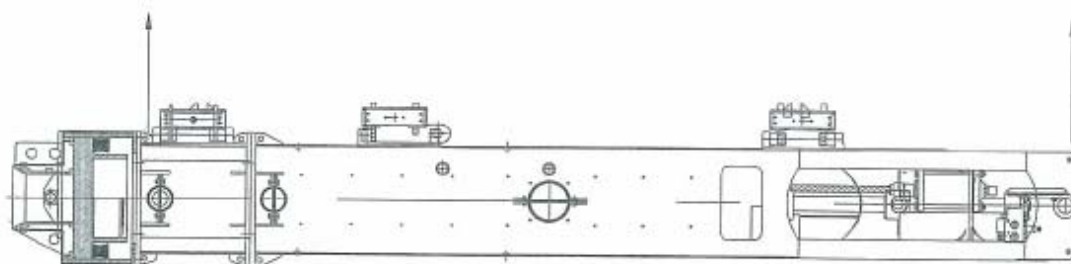


Figura 6.9. Levantamiento del martillo.

Mantenimiento y reparaciones:

▪ Cambio del amortiguador del casquete de hincia:

Cambie el amortiguador del casquete de hincia cuando se detecte una vería o desgaste del mismo. Para inspeccionar el grado de desgaste, suspenda el martillo de modo que el casquete se encuentre en su posición más baja. La distancia entre la maza y el casquete disminuye según el grado de desgaste del amortiguador. Cambie el amortiguador cuando la distancia sea aproximadamente de 10 mm.

El cambio del amortiguador es más fácil en estado frío que en estado caliente.

Si el martillo está siendo usado en suspensión por cable, baje el martillo al suelo y colóquelo en una posición horizontal. Abra los pernos (1) del anillo de seguridad de la caja del casquete de hincia y retire el casquete. Cambie el amortiguador e inspeccione al mismo tiempo la condición del anillo elástico de apoyo.

Si el martillo está montado, baje primero el martillo hasta el suelo de modo que la caja del casquete de hincia esté apoyada contra terreno firme. Abra los pernos (1) del anillo de seguridad de la caja del casquete y levante el martillo- cambie el amortiguador e inspeccione también la condición del anillo elástico de apoyo.

▪ Desmontaje del casquete de hincia:

- Ponga el mástil en una posición vertical.
- Baje el martillo al suelo. Colocándolo sobre unos apoyos de madera.
- Abra los pernos (1) del anillo de seguridad.
- Levante el martillo. El anillo de seguridad y el casquete de hincia se quedarán en el suelo.

- Inspeccione al condición del anillo elástico de apoyo (3) y cámbielo si es necesario.
- Para volver a montar el casquete de hınca, proceda en un orden inverso.

- **Desmontaje de la maza:**

A fin de reducir el peso del martillo, por ejemplo, para el tiempo de su transporte, la maza puede ser retirada sin necesidad de sacar las mangueras hidráulicas.

- Ponga el mástil en una posición vertical.
- Baje el martillo al suelo. Colocándolo sobre unos apoyos de madera.
- Abra los tornillo (2) de la caja del casquete de hınca.
- Levantando el martillo cuidadosamente, retírelo de encima de la caja del casquete de hınca.
- Coloque el martillo en suelo firme y retire la clavija (4) que une la maza al cilindro.
- Levantando la armazón del martillo, sepárela de la maza.
- Realice todos los movimientos con gran cuidado para evitar la caída de la maza.

- **Desmontaje del cilindro de accionamiento:**

El desmontaje del cilindro resulta necesario por causa de avería o fuga. Si se dispone de un cilindro de repuesto, es aconsejable retirar inmediatamente el cilindro averiado e instalar el de repuesto, procediendo después a reparar la avería en unas condiciones de trabajo adecuadas para ello.

1. Saque las mangueras hidráulicas y el cable eléctrico.
2. obture las mangueras con unos tapones adecuados.
3. Saque la clavija (3) y el pasador (4).
4. Separe la manguera hidráulica del acumulador de presión pequeño.
5. Separe la manguera hidráulica del acumulador de presión grande.
6. Abra las tuercas (1) y saque la caja de rodamientos (2).
7. Saque el cilindro.

Para volver a montar el cilindro, proceda en orden inverso.

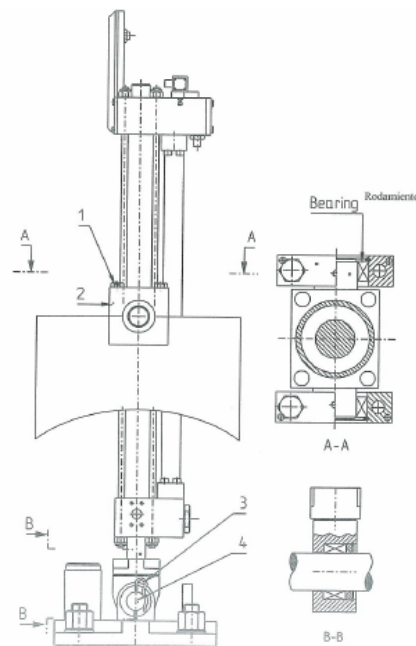


Figura 6.10. Cilindro de accionamiento.

▪ **Cambio de juntas del cilindro:**

El desmontaje del cilindro debe realizarse en un lugar completamente limpio.

- **Medidas preparatorias**

Limpie el cilindro con un chorro de vapor.

Tome nota del número de fabricación del cilindro que aparece estampado en la válvula de solenoide.

- **Desmontaje del cilindro:**

- Sujete el cilindro en un tornillo de banco, apretándolo ligeramente por la parte central (1).
- Antes de proceder al desmontaje, verifique que el émbolo pueda moverse sin problemas por toda la longitud de su carrera.
- Saque los cuatro pernos (2).
- Retire la argolla (3).
- Desenrosque los pernos (5) que afianzan la tubería de retorno (4).
- Saque la base (6) del sensor.
- Retire la válvula de solenoide (7) de la cabeza superior junto con su placa de fijación (8).
- Desenrosque tuercas (10) de la barra (11).
- Retire la cabeza inferior (12).
- Tire del vástago del émbolo para extraerlo.

- Saque la cabeza superior (13).
- Abra la tapa (14) y saque la válvula corrediza (15).
- Saque todas las juntas y anillos tóricos.

- Inspección del cilindro:

- Verifique el buen estado de la superficie interior del cilindro.
- Si se detectan reflejos especulares en la superficie interior, verifique la conformidad del diámetro con la especificación: diámetro 110 mm + 0,087 mm – 0.0 mm.
- Mida el diámetro del émbolo en cinco puntos espaciados entre sí a distancias iguales. El diámetro deber ser 63/56 mm – 0.030 mm – 0.060 mm.
- Verifique el buen estado de las ranuras del émbolo.
- Inspeccione el rodamiento de la argolla de levantamiento.
- Inspeccione las barras de unión.
- Inspeccione la válvula corrediza ubicada en la cabeza superior para verificar la ausencia de desgastes, rayas u otras averías.
- Verifique el buen estado de los manguitos de la parte central.
- Verifique la centricidad de los ejes de la parte central del cilindro.

RENTABILIDAD

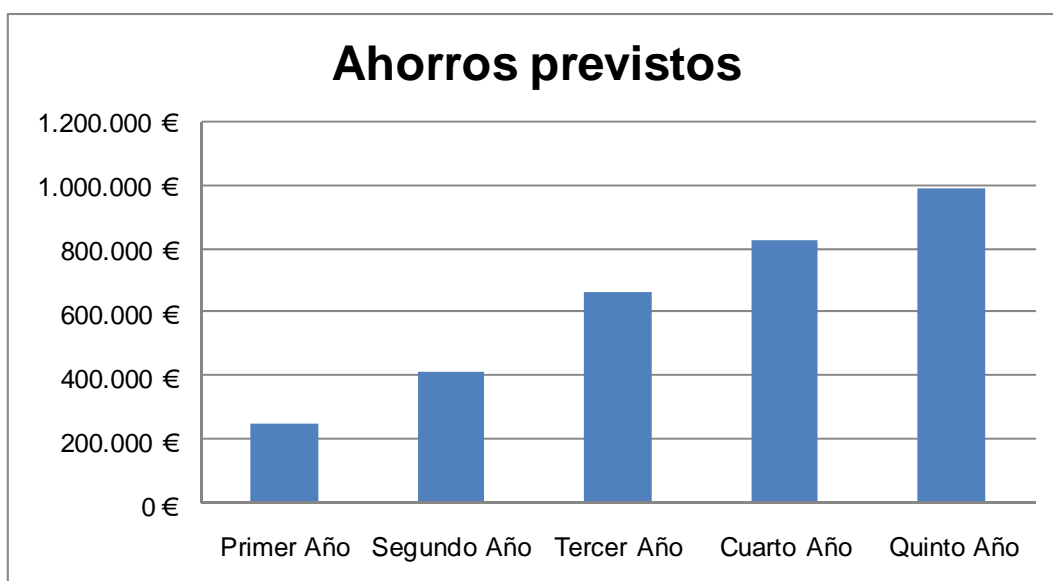
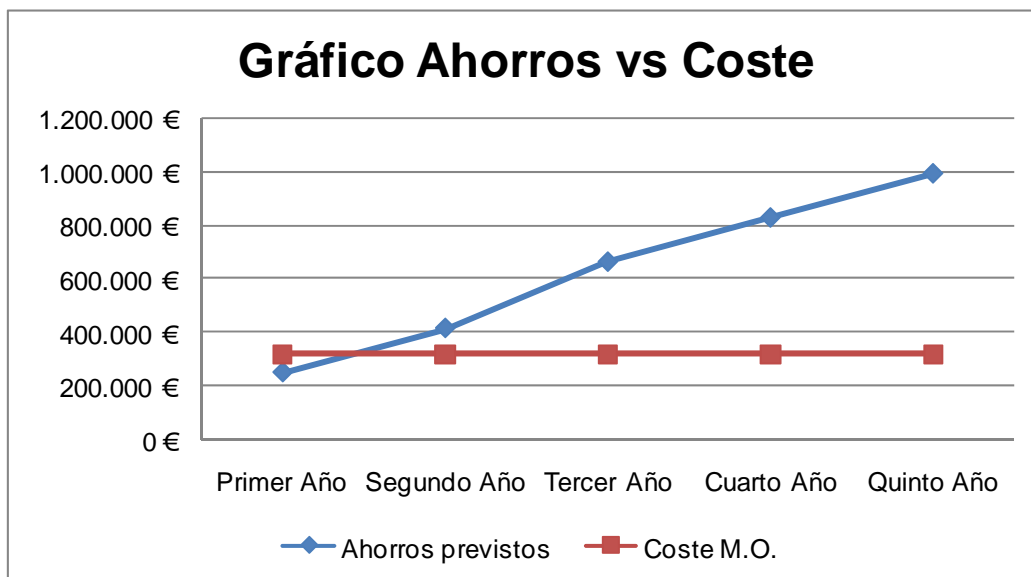
Costes Personal		
Nº Operarios	4	
Coste Operario	70.000	280.000
Nº Auxiliares	1	
Coste auxiliares	35.000	35.000
TOTAL		315.000

Coste de las Averías y paradas de Equipos

KT		Pantallas		In situ		Prefabricado	
Horas avería		Horas avería	1.796	Horas avería	2.088	Horas avería	
Coste/hora avería		Coste/hora avería	300	Coste/hora avería	300	Coste/hora avería	
Coste Total	513.800	Coste Total	538800	Coste Total	626400	Coste Total	400.000*
Coste de reparación de equipos (enero-septiembre)							
Coste reparación	2.470.280	Coste Reparación	1.327.421	Coste Reparación	1.220.634	Coste Reparación	1.148.250
TOTAL	2.984.080		1.866.221		1.847.034		1.548.250

Coste de las Averías y paradas de Equipos	2.079.000
Coste de reparación de equipos (enero-septiembre)	6.166.585
TOTAL	8.245.585

Ahorros previstos		Costes	Diferencia
Primer Año	3% Coste	315000	-67632,45
Segundo Año	5% Coste	315000	97279,25
Tercer Año	8% Coste	315000	344646,8
Cuarto Año	10% Coste	315000	509558
Quinto Año	12% Coste	315000	674470,2
TOTAL		1575000	1558321,8



9. ÍNDICE DE IMÁGENES:

Capítulo 5:

Figura 5.1. Curva de bañera ajustada a campanas de Gauss. [3] Fig. 3.5. Pág. 65

Figura 5.2. Ley de degradación desconocida. [1] Fig. Pág. 39

Figura 5.3. Ley de degradación investigada. [1] Fig. Pág. 39

Figura 5.4. Tradicional curva de bañera. [3] Fig. 4.19. Pág. 118

Figura 5.5. Comparación de dos distribuciones normales. [3] Fig. 4.21. Pág. 121

Figura 5.6. Comparación entre los manuales y la realidad. [3] Fig. 4.22. Pág. 123

Figura 5.7. Fallos potenciales, el intervalo P-F. [3] Fig. 5.1. Pág. 133

Figura 5.8. Transformación de Fourier. [3] Fig. 5.3. Pág. 138

Figura 5.9 Evolución de niveles vibratorios (bases y medios). [3] Fig. 5.4. Pág. 139

Figura 5.10 Parámetro a medir en función de frecuencias. [3] Fig. 5.6. Pág. 142

Figura 5.11 Tipos de pérdidas. [3] Fig. 5.12. Pág. 156

Figura 5.12 Ley de Planck. [3] Fig. 5.16. Pág. 164

Figura 5.13 Esquema básico de captación por termografía. [3] Fig. 5.17. Pág. 165

Figura 5.14 Medios y objetivos marcados por las empresas en las distintas generaciones. [3] Fig. 2.1. Pág. 30

Figura 5.15 Tendencias en la gestión de mantenimiento. [3] Fig. 2.3. Pág. 37

Figura 5.16 Integración de TPM en la gestión del mantenimiento. [2] Fig. 2.7. Pág. 56

Figura 5.17 Esquema de integración del TPS. [2] Fig. 2.7. Pág. 56

Figura 5.18 Diferentes modelos de probabilidad de avería en función del tiempo. [6] Fig. 1.5. Pág. 12

Figura 5.19 Típico grupo RCM. [6] Fig. 1.6. Pág. 17

Figura 5.20 Iceberg de los costes.

Figura 5.21 Incidencia de la tasa de utilización en el coste global: utilización elevada. [2] Fig. 10.2. Pág. 206

Figura 5.23 Incidencia de la tasa de utilización en el coste global: utilización baja. [2] Fig. 10.3. Pág. 206

Figura 5.24 Optimización del coste global en función de la tasa de utilización. [2] Fig. 10.4. Pág. 207

Figura 5.25. Organización del Departamento Mantenimiento de una empresa: Organigramas simplificados. [17]

Capítulo 6:

Figura 6.1. Esquema Mantenimiento correctivo. [18]

Figura 6.2. Curva P-F. [18]

Figura 6.3. Curva clásica. Probabilidad o tasa de fallo con la edad del equipo. [18]

Figura 6.4. Niveles de vibración. [18]

Figura 6.5. Intervalos P-F y desviaciones partiendo de condiciones "normales". [18]

Figura 6.6. Vibración hasta rotura. [18]

Figura 6.7. Martillo HHK. [18]

Figura 6.8. Controlador del martillo HHK. [18]

Figura 6.9. Levantamiento del martillo. [18]

Figura 6.10. Cilindro de accionamiento. [18]

10. BIBLIOGRAFÍA

Libros:

- [1] François Monchy; *Teoría y práctica del mantenimiento industrial*; Masson S.A.; 1990.
- [2] Francis Boucly; *Gestión del mantenimiento*; AENOR Asociación Española de Normalización y Certificación; 1998.
- [3] Francisco Javier González Fernández; *Teoría y práctica del Mantenimiento Industrial Avanzado*; Fundación Confemetal Editorial; 2003.
- [4] Lluís Cuatrecasas; *TPM Total Productive Maintenance: Hacia la competitividad a través de la eficiencia de los equipos de producción*; Ediciones gestión 2000; 1999.
- [5] Educación y programa de Nachi Fujikoshi; *Despliegue del TPM*; Editado por NACHI-Fujikoshi Corporation y el Instituto Japonés de Mantenimiento de plantas; TGP Hoshin; 2000.
- [6] John Moubray; *Reliability-Centered Maintenance*; Editorial Aladon; 1997.
- [7] Jean-Paul Souris; *El mantenimiento: Fuente de beneficios*; ediciones Díaz de Santos; 1992.

Páginas Web:

- [8] www.solomantenimiento.com
- [9] www.fcman.com
- [10] www.infor.com/product_summary/erp/erpbaan
- [11] www.infor.es/soluciones/eam/mantenimiento
- [12] www.allegro-systems.com
- [13] www.industria.ejgv.euskadi.net
- [14] www.masagrupo.com

[15] www.dominguis.com

[16] www.preditec.com

[17] www.science.oas.org/OEA_GTZ/LIBROS/Manten_medida

Otros:

[18] Bibliografía propia de CEPI.